



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE LA TRANSMISIÓN DE UN
VEHÍCULO MONOPLAZA TODO TERRENO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

**CARLOS EDUARDO ESPINOSA
ESCALONA**



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. UBALDO EDUARDO MARQUEZ AMADOR**

MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DADICATORIAS

A MI TIA ANA ELENA QUIEN SIEMPRE HA ESTADO AHÍ PARA APOYARME EN
TODO Y ME HA ENSEÑADO MUCHO MÁS DE LO QUE SE IMAGINA

A MI ABUELITA POR QUE DESDE QUE RECUERDO SIEMPRE ME A EDUCADO
CON TODO SU AMOR Y CARÍÑO Y SUS ENSEÑANZAS SIEMPRE ESTARAN
CONMIGO

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM POR BRINDARME LA
OPORTUNIDA DE HACER ESTA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

A ROCIO QUE ME HA AYUDADO A NO DESISTIR DE CADA TAREA QUE
EMPIEZO Y ME INSPIRA A SEGUIR ADELANTE EN CADA MOMENTO

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO PRINCIPALMENTE A DIOS POR PERMITIRME LLEGAR HASTA ESTE PUNTO Y POR QUE SIEMPRE ME HA GUIADO CON SU AMOR POR MEDIO DE SUS ANGELES QUE EN TODO MOMENTO NOS RODEAN

A MIS HERMANOS PATRICIA Y ALBERTO POR APOYARME SIEMPRE EN TODO LO QUE ME HE PROPUESTO AUNQUE NO SIEMPRE NOS PODAMOS VER Y QUE PARA MI REPRESENTAN UNA GRAN INSPIRACIÓN PARA SEGUIR ADELANTE

A QUIEN CON SU CARIÑO Y COMPRENSIÓN SIEMPRE HA ESTADO AHÍ PARA BRINDARME UN BUEN CONSEJO Y ME A IMPULSADO A SALIR ADELANTE EN CADA MOMENTO DE MI VIDA QUE ADEMÁS SIEMPRE ME DA SU APOYO MI TIA LAURITA

A MI ABUELITA Y MI TIA CHIQUIS QUE SIEMPRE ME HAN QUERIDO, Y TAMBIEN ME HAN DADO LOS ELEMENTOS PARA PODER SALIR ADELANTE Y LAS ARMAS PARA NO DESFALLECER

A MIS PRIMOS PAU, LALA, QUIQUIN Y JAVI QUE SIEMPRE HAN SIDO UNOS HERMANOS PARA MI

A MI MAMÁ QUE DESDE SU FORMA DE SER SIEMPRE HA ESTADO AHÍ BUSCANDO APOYARME Y ME ANIMA A SEGUIR ADELANTE

A LOS LEONES UNO POR SER MI HERMANO Y AL OTRO POR DARME LA VIDA

A ROCIO Y SU FAMILIA QUE EN EL CORTO TIEMPO QUE ME CONOCEN ME
HAN APOYADO PARA TERMINAR ESTA TESIS

A LA FAMILIA VEGA BARRIENTOS QUE SIEMPRE ME HA APOYADO CON SU
CARIÑO Y HOSPITALIDAD IMPULSÁNDOME A NO CEDER A MIS SUEÑOS EN
CADA MOMENTO

A MI ASESOR A QUIEN ESTOY AGRADECIDO POR QUE ME GUIO CON SUS
CONSEJOS Y CORRECCIONES PARA PODER LLEVAR A BUEN TERMINO ESTA
TESIS ING. UBALDO EDUARDO MARQUEZ AMADOR

A LA FACULTAD DE INGENIERIA UNAM POR DARME LOS CONOCIMIENTOS
PARA PODER APLICARLOS EN EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA

A MIS AMIGOS QUE ME AYUDARON Y APOYARON EN LA CONTINUACIÓN DE
MI TESIS, MUY ESPECIALMENTE A MIGUEL ANGEL, ARMANDO, CITLALI,
XOCHITL, VICTOR, TOÑO, MARIAÑO, GERARDO, ANITA, LUPITA, DIEGO,
ISRAEL, LUISA, SAM, Y TODOS AQUELLOS QUE POR EL MOMENTO POR
FALTA DE ESPACIO Y TIEMPO NO LLEGARA A MENCIONAR PERO QUE HAN
SIDO PARTE DE MI VIDA Y HAN ESTADO AHI

GRACIAS

ÍNDICE

Objetivo	1
Introducción	1
1. Descripción de las características de la competencia	3
1.1. Comienzos de Mini-Baja®	4
1.2. Reglas del Juego	4
1.3. Características de la Competencia	5
1.4. Patrocinadores	5
1.5. Objetivos y justificación	6
1.6. Hipótesis del trabajo	6
1.7. Metodología	7
2. Sistema de transmisión del vehículo monoplaza	8
2.1. Características del vehículo monoplaza	9
2.2. Tipos de Transmisión	16
2.3. Características de la transmisión del vehículo monoplaza	21
2.4. Elementos de la transmisión	21
3. Análisis y decisión los elementos que componen al sistema de transmisión	24
3.1. Análisis de los componentes del sistema	25
3.2. Diseño de los elementos del sistema	34
3.3. Cálculo de los factores de seguridad de los elementos del sistema	41
4. Manufactura, modificación y ensamble de los elementos del sistema de transmisión propuesto	55
4.1. Componentes del sistema	56
4.2. Consideraciones de las partes a manufacturar	57
4.3. Plan de manufactura de las partes	59
4.4. Ensamble del sistema	69
4.5. Costos de fabricación	70
5. Comprobación el funcionamiento real del sistema de transmisión	71
5.1. Pruebas y ventajas del sistema	72
5.2. Resultados	74
5.3. Comentario	82
6. Conclusiones	83
Apéndice	85
Bibliografía	87

Objetivo

Rediseño de la transmisión de un vehículo monoplaza tubular todo terreno

Introducción

El vehículo monoplaza tubular todo terreno, es diseñado por estudiantes de la Facultad de Ingeniería con el fin de participar en la competencia SAE Mini-Baja[®], uno de sus objetivos es diseñar un prototipo para disminuir el tráfico de las grandes ciudades, y mejorar la vialidad, haciendo un vehículo ligero, de bajo costo, para dos personas y que se pueda estacionar en cualquier lugar por pequeño que sea. Para este fin año con año se realiza una competencia a nivel Norte América, en la cual se ha participado desde hace más de 16 años. Esta competencia consiste en tres días de eventos en donde se califica el diseño, los costos, la manufactura, facilidad de ensamble, seguridad, velocidad, aceleración, par de salida, maniobrabilidad y la resistencia de los sistemas, en donde el vehículo es sometido a grandes esfuerzos ya que, esta prueba consiste en dar vueltas a un circuito a campo traviesa durante 4 horas. En 1999 se obtuvo un segundo lugar en aceleración, y en 2001 se obtuvieron dos quintos lugares, uno en diseño y el otro en costos.

En México hay una competencia que se lleva a cabo una vez al año con universidades mexicanas, en las cuales no se ha podido obtener un buen lugar debido a ciertas fallas en el sistema de transmisión, el cual no tiene la suficiente flexibilidad para soportar todo el tipo de esfuerzos a la que se ve sometido el sistema debido a las condiciones del terreno. Además que al momento de hacer la reparación o el mantenimiento del sistema este requería de un gran tiempo lo cual hacía perder tiempo en el circuito de competencia.

Planteamiento del problema

De ahí es donde se deriva la pregunta obligada.
¿Cómo mejorar la transmisión sin perder par de salida?

Por esta causa es necesario el diseño de un nuevo sistema de transmisión el cuál tenga gran flexibilidad además de par de salida para que cumpla con un buen desempeño sin importar lo accidentado del terreno, otro punto importante es la facilidad de mantenimiento, ya que esto ayuda a poder repararla en muy poco tiempo, y también es importante que sea lo más ligera posible, con el fin de aprovechar mejor el par de salida, y que este no cargue con el peso del vehículo.

Algo muy importante en el sistema de transmisión es también que la mayor parte de las piezas sean comerciales, ya que uno de los objetivos de la competencia es que este proyecto tenga una producción en serie, y esto ayuda también a conseguir más fácilmente las refacciones para el vehículo.

En el capítulo 1 se vera una breve historia del proyecto así como la descripción de la competencia para poder así conocer todos los aspectos que se toman en cuenta para poder participar.

En el capítulo 2 se conocerán los elementos necesarios del vehículo para que tenga un buen desempeño durante la competencia así como una descripción de los diferentes tipos de transmisiones que hay, así como los elementos que se requieren para un buen funcionamiento del vehículo.

El capítulo 3 describe todo el análisis que se hizo para el diseño del sistema propuesto, en el cual se dan a conocer todas las características de cada componente del sistema de transmisión, así como los criterios de decisión que se consideraron para elegir el sistema que se diseñó.

El capítulos 4 describe la manufactura de los elementos de que se fabricaron para el sistema y no muestra como quedó ensamblado el sistema ya con todos sus componentes.

Capítulo 5 aquí se puede ver cuales fueron algunas de las pruebas que se hicieron antes y durante la competencia, la cual se realizó en el estado de Utha en EEUU y nos muestra un resumen de las actividades que se hicieron durante la estadía en el lugar.

En el capítulo 6 se puede conocer cuales son las conclusiones de este trabajo así como las ventajas que este sistema aporto al proyecto.

1. Descripción de las características de la competencia

1.1. Comienzos de Mini-Baja®

El proyecto SAE Mini-Baja® consiste en una competencia de diseño y construcción de prototipos para todo tipo de terreno a nivel intercolegial. La primera competencia Mini-Baja®, fue organizada por la South Carolina University en 1976, bajo la supervisión del Dr. J.F. Stevens. Desde entonces Mini-Baja ha crecido de una manera impresionante; en la actualidad este proyecto es auspiciada por la SAE International™. Dentro de este proyecto organiza cada año un serial de tres pruebas a lo largo del territorio de Estados Unidos, una en la zona Este, otra en el Medio-Oeste y otra en el Oeste.

1.2. Reglas del Juego

1.2.1. Objetivo del Proyecto

El objetivo de este proyecto es enfrentar a las universidades participantes a través de sus estudiantes a las condiciones reales a las que se deben enfrentar los proyectos que buscan un desarrollo, los equipos deben enfrentarse a situaciones adversas reales para sacar adelante sus diseños, además de competir con equipos que enfrentan situaciones similares.

1.2.2. Presentación de Ventas

Cada equipo compite para que de manera ficticia un gran corporativo compre su diseño, que lo producirá en 4000 unidades al año con un costo máximo de \$2,500 dólares y lo pondrá en el mercado de los off-road amateur, categoría denominada para los vehículos todo terreno de esparcimiento.

1.2.3. Patrocinios

Los equipos Mini-Baja®, no solamente deben trabajar en el diseño, construcción, pruebas, promoción y manejo del vehículo. También deben obtener el soporte financiero para poder enfrentar los gastos que conlleva la fabricación del prototipo así como participar propiamente en la competencia y asistir a ella, a través de la obtención de patrocinios.

1.2.4. Motor del Vehículo

El motor que impulsa estos prototipo es standard para todos los competidores, los motores son otorgados por la empresa Briggs & Stratton™ que entrega a cada vehículo competidor un motor B&S 7.457 kw (10HP) para su impulso motriz.

1.2.5. *Características Especiales*

Los prototipos son monoplaza de cuatro llantas, de tipo off-road amateur. Debe ser un vehículo seguro de manejar, de fácil transportación, de mantenimiento sencillo, así como divertido, en pocas palabras, debe ser un coche atractivo para su venta.

1.3. **Características de la Competencia**

SAE Mini-Baja[®] es una competencia muy atractiva debido a las circunstancias en las que está se desarrolla, y debido a eso esta competencia se puede utilizar como laboratorio de pruebas; así como sucede con las competencias profesionales de automovilismo. Ya que la competencia consta de pruebas extenuantes que ponen realmente a prueba al diseño construido, además de luchar contra las condiciones más adversas, esto puede ser de gran utilidad para probar resistencia y comportamiento de autopartes en esas condiciones. En estos prototipos se realizan innovaciones las cuales permitan obtener una ventaja competitiva real entre los diferentes participantes, estas innovaciones y el empleo de los materiales más adecuados permiten la fabricación de un vehículo competitivo.

Las pruebas a las que se enfrentan los prototipos son:

- Seguridad y Diseño.
- Reporte de costos unitario y presupuesto de costos por 4000 unidades.
- Presentación de ventas.
- Prueba de maniobrabilidad.
- Prueba de velocidad: 50 yardas de arranque a máxima velocidad.
- Prueba de potencia: Subir una cuesta de 45° contra reloj.
- Prueba de resistencia: Carrera campo traviesa, duración de 4 hrs.

1.4. **Patrocinadores**

1.4.1. *Patrocinadores del Proyecto*

SAE Mini-Baja[®] es un proyecto serio, cuenta con el patrocinio de SAE International[™], General Motors[™], Pionner[™], Delco[™] y Briggs & Stratton[™] y es una competencia de gran trascendencia para las Universidades de Norteamérica.

1.4.2. *Patrocinadores del Vehículo*

SAE Mini-Baja[®] UNAM es auspiciado por la Facultad de Ingeniería, Unamos Esfuerzos, TELMEX, CODRAMSA, Pumas y Fundación UNAM. De acuerdo a las finalidades del programa del proyecto, los estudiantes se han mostrado interesados en su desarrollo. La participación de la UNAM se ha dado durante varios años, a partir de 1990 se ha realizado cierta continuidad ya que en estos últimos 17 años se ha participado cuando menos en alguna

competencia del serial en Estados Unidos. El off road es una competencia muy emocionante, en la que se busca tener la mejor eficiencia de todos los sistemas para así obtener un buen lugar en la competencia.

1.5. Objetivos y justificación

1.5.1. Objetivo del equipo Mini-Baja® de la Facultad de Ingeniería

El proyecto SAE Mini-Baja® en donde se utiliza el vehículo monoplaza tubular es avalado por SAE internacional, es un proyecto creado por y para los estudiantes, que conocen sus potenciales y el compromiso de buscar un cambio de actitud de progreso en la UNAM por lo que se ha conformado un equipo de trabajo para tener una participación sobresaliente en este proyecto. En donde se debe construir un prototipo, conseguir los patrocinios, así como responder a las expectativas de ser la universidad ganadora de esta competencia a nivel Norte América.

1.5.2. Justificaciones

Debido a la gran competencia existente entre universidades es necesario buscar ventajas sobre los otros competidores y una de estas ventajas puede ser el tener una forma de impulsión que pueda dar el par de potencia requerida a la salida sin perder velocidad, además de buscar materiales que hagan al vehículo mas ligero pero sin perder la rigidez necesaria para la competencia.

Debido a que desplazamiento del vehículo se adquiere por medio del sistema de transmisión y también debido a que las nuevas normas de la competencia hicieron un cambio de potencia del motor, para mejorar la eficiencia de los sistemas, es posible bajar un poco lo que es la relación de transmisión sin perder par de salida y así poder ganar velocidad, siempre y cuando se conserve el peso del vehículo anterior.

Otro punto importante también es ir buscando que las partes del sistema sea lo más comercial posible para poder encontrar sus refacciones en accesorias y así lograr que las reparaciones del vehículo se hagan por medio de piezas comerciales que se puedan conseguir fácilmente, esto por consiguiente también ayuda a maquinar un menor número de las partes del ensamble, buscando así reducir los costos de producción lo más posible.

1.6. Hipótesis de trabajo

El mejoramiento del sistema de transmisión proporcionara que se tenga un mejor lugar en la carrera.

1.7. Metodología

Se analizará el estado actual de la transmisión en cuanto a flexibilidad, facilidad de reemplazo, accesibilidad para mantenimiento, partes manufacturadas o adaptadas, partes comerciales, par de salida, velocidad inicial y final y ventajas que se le dan al vehículo y se comparará con el nuevo diseño el cual se pondrá a prueba para ver las ventajas reales y desventajas que presenta al momento estar sometida a cargas reales comparables con la competencia.

2. Descripción de las características del sistema de transmisión del vehículo monoplaza

2.1. Características del vehículo monoplaza

2.1.1. Características Generales del vehículo monoplaza

En este proyecto se requiere diseñar un vehículo para todo terreno, ya que puede ser utilizado como transporte de entretenimiento, ya sea en la playa o en el bosque, o como vehículo de investigación recolectando muestras en terrenos de difícil acceso, o llevando equipo a lugares poco accesibles.

En la Facultad de Ingeniería el vehículo monoplaza es utilizado principalmente en la competencia de Mini Baja[®] la cual se lleva a cabo en México y Norte América.

El vehículo debe de ser monoplaza, esto quiere decir para una sola persona, además de ser capaz de atravesar cualquier tipo de terreno, ya que la competencia de Mini Baja[®] se realiza a campo traviesa, en donde el terreno es impredecible y muy accidentado. Siguiendo las bases del reglamento de SAE Mini Baja[®] que establece las características que debe tener el vehículo para la competencia.

2.1.1.1. Características de un vehículo monoplaza

El objetivo de la competencia de Mini Baja[®] es simular proyectos de diseño en ingeniería del mundo real y los retos que se le relacionan, desarrollados por equipos integrados por estudiantes de ingeniería. Cada equipo compite con la idea de obtener aceptación del diseño para ser manufacturado por una firma ficticia. Los estudiantes deben tener la función de un equipo de diseño, construcción, prueba, difusión y participar en la competencia de un vehículo que esté dentro de los límites del reglamento de SAE Mini Baja[®] así como generar un fondo financiero para sustentar el proyecto, también es necesario realizar un reporte de costos, para hacer una presentación de venta del vehículo en donde se resaltan todas sus características principales y sobre todo la seguridad del vehículo, la cual es indispensable para que pueda participar en la competencia.

Cada equipo tiene que diseñar y construir un vehículo proto-tipo de cuatro ruedas, monoplaza, recreativo con el fin de venderlo a entusiastas amateurs del todo terreno para fines de semana. El vehículo tiene que tener una estructura segura para evitar lesiones en caso de accidentes, fácil de transportar, de fácil mantenimiento y ligero para manejar. Este debe de tener la habilidad de pasar cualquier terreno difícil sin que haya daño alguno. Es requisito también que para un volumen de producción de cuatro mil (4000) unidades por año, el costo de la manufactura del vehículo sea menor a \$3000 USD (costo de material y mano de obra, así como el equipo y la herramienta utilizada)

Configuración del vehículo: tiene que tener cuatro o más ruedas. Los vehículos de tres ruedas son expresamente prohibidos para esta competición. El

vehículo debe de ser capaz de llevar una (1) persona de hasta 190.5 cm (6 pies 3 pulgadas) de alto y que pese 113.4 kg (250 libras) como máximo

Máximas dimensiones del vehículo

Ancho: 152.4 cm (60 pulgadas), medida en la parte más ancha, incluyendo llantas

Largo: 243.84 cm (96 pulgadas), medida en la parte más larga, incluyendo llantas

Capacidad en el terreno: el vehículo tiene que ser capaz de ser operado de una forma segura en todo terreno, incluyendo rocas, arena, pantanos, lodo, pendientes muy inclinadas y lugares con agua. El vehículo debe tener la altura suficiente para poder librar las piedras o pequeños obstáculos que se encuentren en el camino y buena tracción en tierra.

Para proveer una base uniforme en el desarrollo de la competencia de Mini Baja[®], todos los vehículos deben de usar el mismo motor: un motor común de cuatro ciclos y un cilindro con una potencia nominal de 7.46 kW (10 hp), enfriado por aire, marca Briggs & Stratton OHV Intek Modelo 205432 tipo 0036-e1. Este motor tiene que ser común en todos los vehículos y no se le pueden hacer modificaciones de ningún tipo para mejorar su rendimiento.

2.1.2. Sistemas del vehículo monoplaza

Los sistemas de este tipo de vehículos deben de tener una gran resistencia por el tipo de pruebas a las que son sometidos, además de que es conveniente tener un fácil acceso a los sistemas para su mantenimiento.

Otro punto que también se busca es que la mayor parte de sus componentes sean de uso comercial para así poder encontrar las refacciones de una manera sencilla, en caso de llegar a comercializarse. Esto se busca en cualquier de los sistemas que componen al vehículo, los cuales se describirán a continuación brevemente:

- 1.- Estructura del vehículo monoplaza
- 2.- Dirección del vehículo monoplaza
- 3.- Suspensión del vehículo monoplaza
- 4.- Frenos del vehículo monoplaza
- 5.- Transmisión del vehículo monoplaza

2.1.2.1. Estructura del vehículo monoplaza

La estructura es el soporte de todos los sistemas del vehículo, por lo que debe de ser rígida y resistente a los impactos, ya que de esto depende la seguridad del conductor, también debe de ser versátil y de fácil acceso por ser el soporte que lleva todos los aditamentos de cada sistema.

Esta sistema puede tener una gran variedad de configuraciones, ya que el reglamento de la competencia de Mini Baja[®] nos da una amplia gama de medidas de seguridad así como formas en las que puede armarse la estructura, la cual debe

de ser tubular de acero con un diámetro externo de 25.4 mm y un grosor de 2.1 mm y un contenido mínimo de carbono de 0.18 % o un tubo de acero equivalente en cuanto a propiedades mecánicas se refiere, por lo que es necesario que el material seleccionado cumpla con un módulo de resistencia a la fluencia, el cual denominaremos como S_y y un módulo de elasticidad, el cual denominaremos como E , equivalentes al tubo especificado en el reglamento de SAE Mini Baja®, esto quiere decir que el material del tubo seleccionado debe de tener como mínimo un módulo de resistencia $S_y = 370 \times 10^6$ Pa y un módulo de elasticidad $E = 205 \times 10^9$ Pa.

La estructura del vehículo es la parte más importante ya que en caso de que se llegue a voltear o a caer por un barranco, la resistencia de la estructura puede salvarle la vida al piloto del vehículo, también debe de ser capaz de resistir cualquier impacto que reciba de otro vehículo, o en caso de chocar con algún objeto, ya sea un árbol o una piedra, además de que en su diseño se deben incluir los suficientes aditamentos para adaptar todos los sistemas de forma que se puedan sujetar con facilidad y seguridad.

A continuación en las figuras 2.1 se muestran las diferentes configuraciones que puede tener la estructura del vehículo:

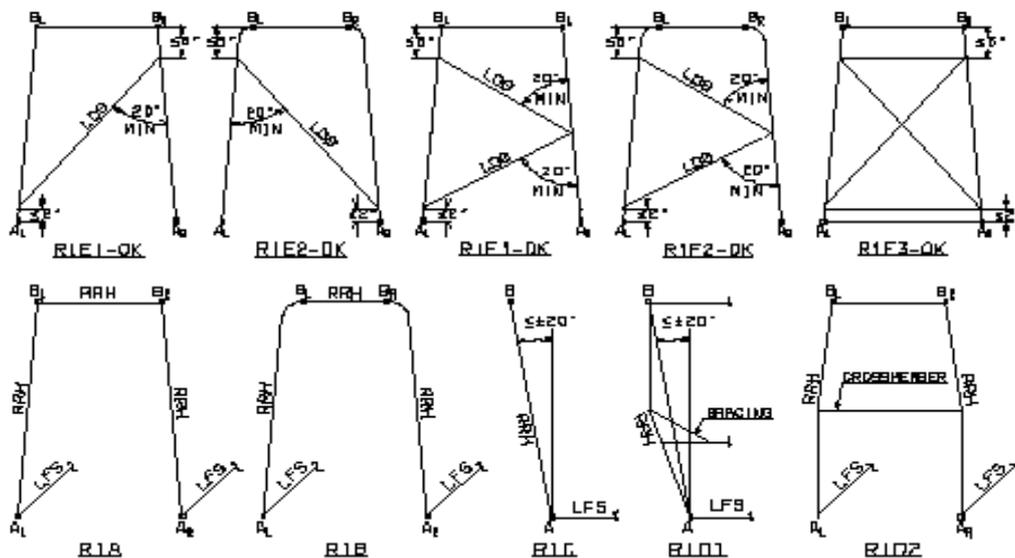


Figura 2.1. Configuración que debe de tener la parte posterior de la estructura y los refuerzos que puede llevar.

Este tipo de vehículos debe de estar equipado con un roll-bar que tenga por lo menos cuatro puntos diferentes de unión de la estructura arriba de la cabeza del conductor, como se aprecia en la figura 2.2. El marco y el roll-bar debe evitar bordes rectos en cualquier posición, a lo largo del exterior del marco y el roll-bar con el fin de que ningún punto de los bordes rectos quede a menos de 12.76 cm desde el casco del conductor más alto, hasta la estructura.

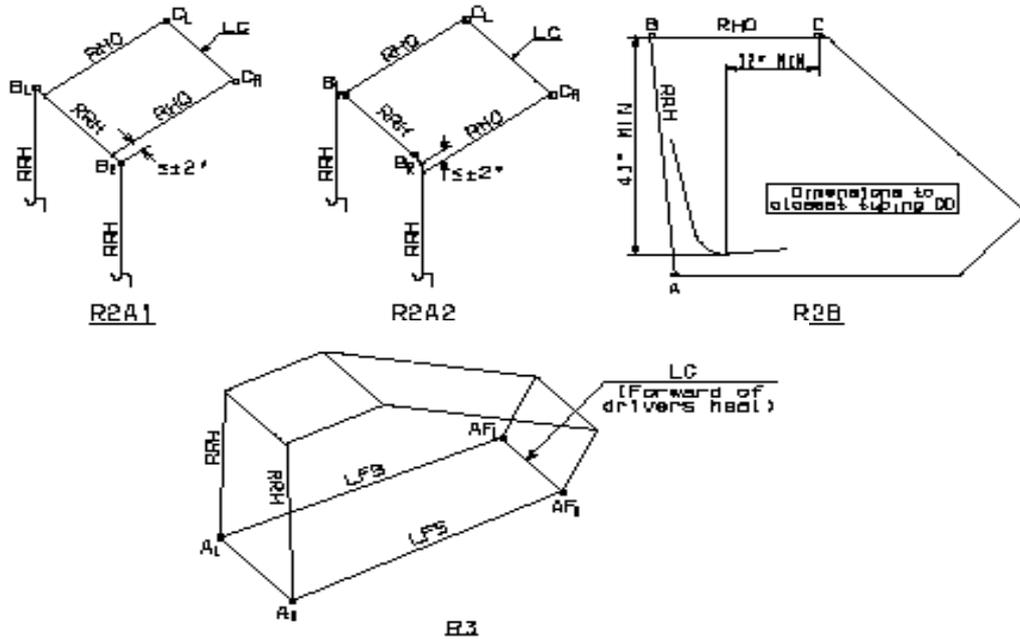


Figura 2.2. Configuración que debe de llevar tanto la parte superior como la parte inferior de la estructura.

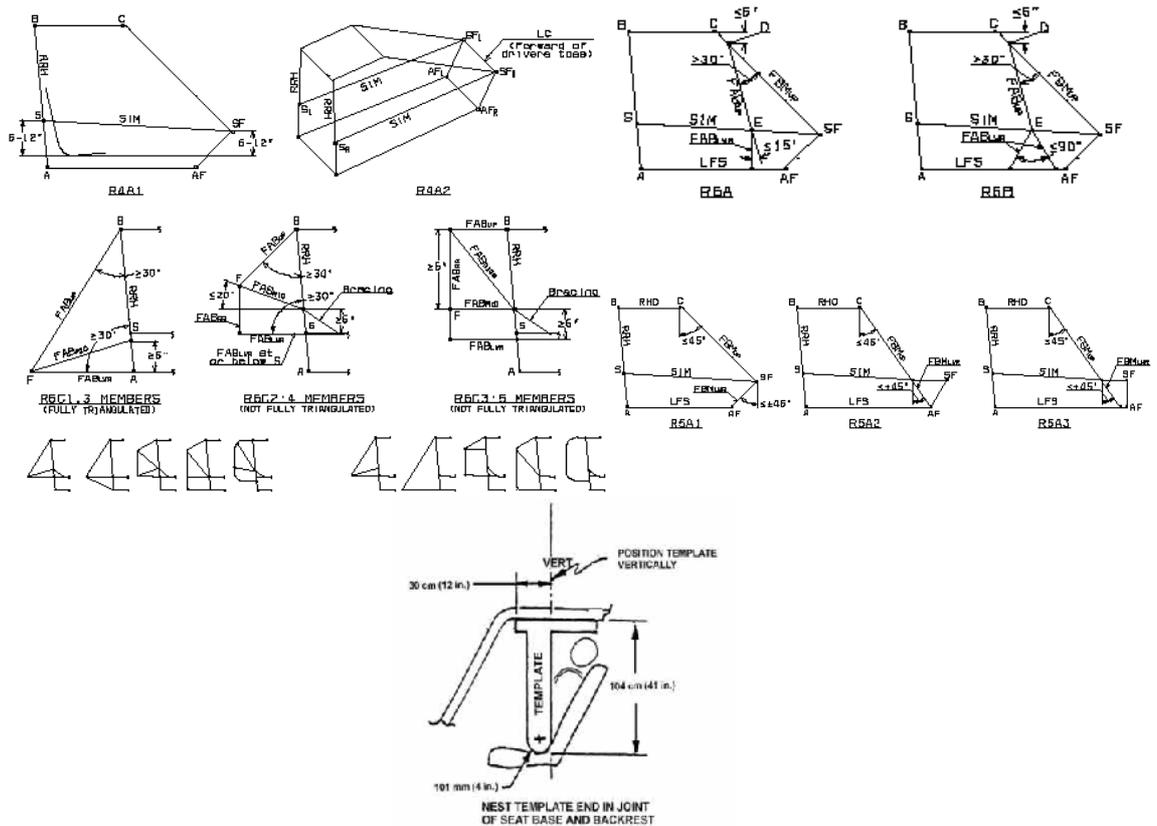


Figura 2.3. Consideraciones necesarias para que la estructura pueda proteger al piloto en caso de un accidente.

La cabina debe reforzarse en los laterales, como se muestra en la figura 2.3 cuerpo y/o en la dirección posterior asegurando la rigidez de la estructura. El refuerzo debe extenderse hasta la parte más alta del marco como mínimo. La rigidez lateral puede proporcionarse por un refuerzo lateral, un refuerzo diagonal al aro principal, o una combinación de los dos. El ángulo mínimo aceptable entre el marco de la cabina y el refuerzo del cuerpo es de treinta grados medidos verticalmente como lo indica la figura 1. En la parte inferior del asiento debe haber una protección para el caso de un impacto lateral la cual debe ser paralela al piso con un mínimo de 152.4 mm y un máximo de 355.6 mm hacia arriba desde la parte más baja del asiento del vehículo. También debe contar con un cinturón de seguridad de 5 puntos de sujeción mínimo para mantener al piloto pegado al asiento del vehículo, además de que éste debe tener la facilidad de quitarse lo más rápido posible de modo que el piloto salga en un tiempo máximo de 5 segundos. La cabina debe tener cubiertas, tanto para proteger al piloto del contacto con el piso como de los aditamentos, como la dirección y la suspensión.

2.1.2.2. Dirección del vehículo monoplaza

La dirección es el sistema del vehículo con el cual se busca tener el control de este para maniobrarlo con facilidad en cualquier clase de terreno, y llevarlo en la dirección deseada.

Uno de los requerimientos que el manual señala y debe cumplir la dirección del vehículo es el de tener un tope en ambos sentidos, estos deben funcionar en una gran sacudida, en un salto grande, y en cualquier punto intermedio.

Hay varios tipos de direcciones, como son las de bolas recirculantes, sinfín y rodillo, leva y palanca, piñón y cremallera, así como los sistemas hidráulicos que son, algunos similares a los sistemas mecánicos, pero impulsados principalmente por aceites, los cuales pueden dar un buen control del vehículo sin tanto esfuerzo por parte del piloto, el único inconveniente para este caso es que se requiere tener una bomba hidráulica la cual requiere parte de la potencia del motor para poder funcionar.

2.1.2.3. Suspensión del vehículo monoplaza

La suspensión sirve para que el vehículo pueda transitar por cualquier clase de terreno sin sufrir daños en la estructura, y también para que el piloto esté más cómodo sin importar lo accidentado del terreno figura 2.4.

Las suspensiones son combinaciones de palancas mecánicas y montaduras con algún tipo de muelle para soportar el vehículo y unirlo a los ejes muertos o vivos. El peso que la suspensión soporta se llama peso suspendido y el peso de los componentes y piezas que están unidos a los ejes se llama peso no suspendido. Los fabricantes tratan de hacer estos componentes y piezas tan livianas como sea posible para disminuir el peso no suspendido. Como esto reduce el empuje hacia arriba del neumático, puede usarse un muelle que tenga mayor flexibilidad. Si el peso no suspendido es pequeño, el neumático puede seguir las irregularidades del

camino con facilidad y la fuerza hacia arriba es pequeña cuando el neumático pega en una protuberancia. Si el peso no suspendido es grande, deberá usarse un muelle menos elástico para absorber la fuerza hacia arriba. En consecuencia, se transmite un movimiento hacia arriba mayor al bastidor, aumentando su vibración, afectando adversamente la conducción y la dirección. Pensando en este último efecto se ha buscado que los resortes sean lo más resistentes posibles, sobre todo en la parte delantera, que es en donde se produce un mayor momento debido a la posición que tiene el motor con respecto al centro de masas.



Figura 2.4. Aspecto de la suspensión en un vehículo.

2.1.2.4. Frenos del vehículo monoplaza

Los frenos es el sistema que se utiliza para detener al vehículo en el menor tiempo posible y al menos en una distancia de 15.24 m en el pavimento a la máxima velocidad del vehículo, ya que es un factor e seguridad muy importante, por que debido al tipo de terreno en el que se desenvuelve el vehículo es necesario que se pueda detener en caso de cualquier emergencia, además que debido a su importancia se le da un gran valor en la competencia, y de esto depende la calificación para poder participar en las otras pruebas.

Debido a que son una parte fundamental en el vehículo, para evitar un accidente en el evento, se ha puesto especial atención en este sistema buscando que el vehículo en caso de requerirlo pueda parar sin dificultades. Es común que los sistemas de frenos reciban su nombre según sea la forma como se ejerce la acción de frenado.

En los vehículos podemos encontrar dos tipos principales de sistemas de frenos: De aire e hidráulicos, es decir, los frenos de aire son aquellos que utilizan aire para accionar el sistema frenado, como es el caso de la mayoría de los camiones y vehículos de gran capacidad de carga, este tipo de frenos tiene una

muy buena respuesta al momento de accionarlos, pero su instalación requiere de aditamentos que utilizan parte de la potencia del motor. Los frenos hidráulicos figura 2.5 son los que utilizan un fluido líquido para transmitir la acción de frenado y sólo requiere una bomba de accionamiento sencillo. Debido a esto último, este sistema es el más utilizado en los vehículos debido a que tienen una buena respuesta al momento de accionarlos.

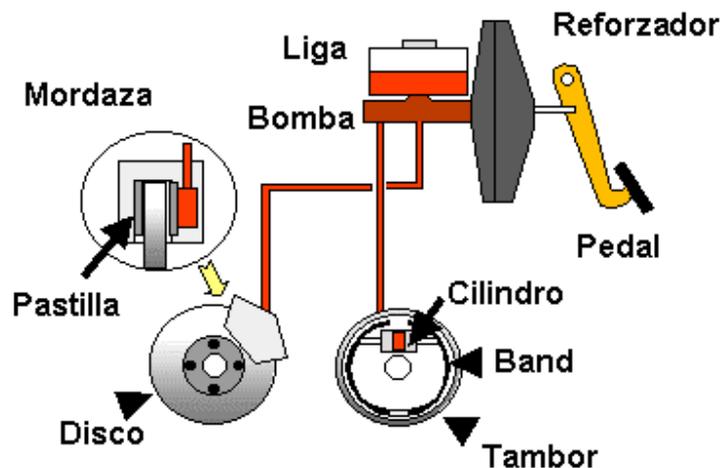


Figura 2.5. Esquema del funcionamiento de un sistema de frenos hidráulicos.

En la figura 2.5 se puede ver un esquema muy sencillo del funcionamiento de un sistema de frenos en un vehículo, en donde se pueden apreciar las partes fundamentales del mecanismo.

El cilindro maestro envía el fluido conocido como liga de frenos, desde su depósito hasta cada una de las ruedas. En los vehículos modernos se utiliza un reforzador, que es un mecanismo que facilita al conductor el accionamiento del freno llamado servofreno o booster que multiplican el esfuerzo que el conductor ejerce sobre el pedal al frenar.

2.1.2.5. Transmisión del vehículo monoplace

Este sistema es el que se tratará en este trabajo, por lo cual aquí se describirá brevemente y en el siguiente capítulo se tratará más a fondo.

La transmisión es la conexión entre el motor y la superficie del camino; ésta adapta la potencia disponible del motor, a la tracción requerida por el vehículo en las ruedas, asegurando el desempeño deseado, por lo que este sistema es uno de los más importantes del vehículo ya que por medio de éste es que se va a mover el vehículo y su diseño debe de ser calculado de modo que el vehículo pueda tener un buen desempeño en todas las pruebas dinámicas que se realizan durante la competencia, de acuerdo a lo especificado por el reglamento de SAE Mini Baja[®].

El sistema de transmisión es el que se encarga de mandar la potencia producida por el motor convirtiéndola en fuerza y en velocidad cuando el vehículo ha alcanzado cierta inercia.

2.2. Tipos de transmisión

2.2.1. Clasificación de sistemas de transmisión

Hay una gran variedad de sistemas de transmisión, los cuales nos sirven para transformar la fuerza obtenida

La transmisión es un elemento muy importante en un automóvil ya que es el medio por el cual se transmite la potencia del motor a las ruedas del automóvil y es la que nos va a dar la fuerza y velocidad de salida.

Para este propósito se pretende analizar varios tipos de sistemas de transmisión que sean factibles para esta clase de automóvil que se diseña para que resista a grandes esfuerzos durante un tiempo relativamente grande.

Se pretende que se tenga el mayor par de salida así como una velocidad final lo más alta posible para lo cual se analizarán tres tipos de transmisiones, por engranes, por cadena y por bandas así como sus mejores combinaciones para obtener una transmisión que nos proporcione una buena respuesta y una mejor eficiencia.

Se comenzará por analizar cada una por separado dando sus ventajas o desventajas así como un comentario a cerca de estas.

2.2.1.1. Sistemas de transmisión por Engranes

La transmisión por engranes se caracteriza porque la fuerza la transmite por medio de unas ruedas dentadas que necesitan estar en contacto directo, que van montadas generalmente en dos ejes, el primero es llamado motriz, el cual provoca el movimiento y va acoplado a la fuente de energía, el segundo eje se llama motor y es el que transmite la fuerza a los mandos finales, que pueden ser en este caso los neumáticos.

En este tipo de transmisión podemos obtener una gran variedad de velocidades y de par de salida, así como una amplia gama de velocidades de salida, pero uno de sus grandes problemas es el arranque ya que no es posible tenerlo conectado todo el tiempo al motor, por tener la desventaja que siempre que hay movimiento en la flecha de un lado de la caja de engranes, hay otro movimiento de salida en el lado opuesto, y esto afecta directamente al vehículo sobretodo cuando este está parado y con el motor apagado o cuando está en movimiento cuando el motor está encendido, esto nos conlleva a ponerle un sistema acoplador, con el cuál podemos conectarlo o desconectarlo del motor cuando sea necesario, y esto nos trae como consecuencia mayor peso en el vehículo y otro sistema más en el cual trabajar.

Algunas ventajas para la transmisión de engranes son:

1. Las transmisiones por engranes son más compactas que las transmisiones por cadenas o por bandas, debido a que la distancia entre centros es mínima.

2. Los engranes tienen mayor capacidad de velocidad que las bandas o las cadenas.
3. Los engranes tienen límites más amplios de relaciones de velocidad que las cadenas.
4. Los engranes pueden transferir mejor la potencia alta a velocidad elevada que las bandas o las cadenas.
5. Los engranes metálicos no se deterioran con el tiempo, el calor, el aceite ni la grasa.
6. Los engranes metálicos no desarrollan cargas eléctricas estáticas.

2.2.1.2. Sistemas de transmisión por Cadenas

La transmisión por cadenas transmite la fuerza por medio, como su nombre lo indica, de cadenas montadas en unos engranes especiales llamados "catarinas", estas catarinas se montan en los ejes de conducción (motriz) y conducido (motor), al igual que los engranes, pero con la diferencia de que estas no están en contacto directo para transmitir la fuerza, sino que se conectan por medio de las cadenas pudiendo tener así una mayor distancia entre ejes.

Este tipo de transmisión es común en esta clase de vehículos, ya que permite tener cualquier tipo de configuración y son más fáciles de reparar en caso de que se tenga una descompostura inesperada.

En este tipo de transmisión al ser muy flexible permite que se puedan dar arreglos muy complejos sin que esto signifique un gran problema de diseño, Otro punto que también me gusta mucho es que transmiten la potencia con una buena eficiencia, y es posible también que se tenga un buen par de arranque.

A continuación se dan unas ventajas de la transmisión por cadena:

1. La variación en la distancia de centros de la flecha se puede acomodar más fácilmente que con la transmisión por engranes.
2. Las cadenas son más fáciles de instalar y remplazar que las bandas, debido a que la distancia entre centros de las unidades de conducción y las conducidas no necesita ser reducida para la instalación.
3. Las cadenas no requieren tensión en ambos lados de la catarina, por lo que las cargas sobre los apoyos se ven reducidas.
4. Las cadenas no se deslizan ni se resbalan, como lo hacen las transmisiones por bandas (salvo para bandas dentadas).
5. Las transmisiones por cadena son más compactas debido a que los diámetros de las ruedas dentadas son menores y las cadenas son más angostas que las poleas y las bandas para la misma transferencia de potencia.
6. Las cadenas no desarrollan cargas estáticas.
7. Las cadenas no se deterioran con el tiempo, el calor, el aceite, ni la grasa.
8. Las cadenas pueden operarse a temperaturas más altas que las bandas.

2.2.1.3. Sistemas de transmisión por Bandas

La transmisión por bandas transmite la fuerza del motor por medio de poleas que se unen con unos cinturones que pueden ser planos o en forma de V o dentados, que son las bandas, su forma depende del tipo de poleas que se utilice. Estas también llevan un eje de conducción y uno conducido.

Este tipo de transmisión se utiliza mucho en la industria debido a que la transmisión no necesita lubricante, es menos ruidosa y en caso de que se llegase a parar alguno de los elementos que transmiten la potencia para que el vehículo se mueva, ya sea el motor o las ruedas, permite un deslizamiento con el cual se evita un daño en el otro componente. Al igual que con las cadenas con este tipo de transmisión se puede alcanzar cualquier configuración deseada sin mayor problema.

Para este tipo de transmisión se puede tener en cuenta dos diferentes tipos de aplicación, el de poleas fijas, con lo cual se traería el problema de tener que parar el motor para poder hacer el cambio de velocidad, o por lo menos se tendría que adaptar un embrague o sistema de acoplamiento y desacoplamiento, el cual lo volvería muy lento y poco eficiente, y el otro caso sería el de poleas variables (CVT) las cuales le pueden dar una gran variedad de velocidades y un par de arranque grande, lo suficiente como para poder moverlo sin mucha dificultad. Estas son algunas de las ventajas de la transmisión por poleas.

1. Hay un aislamiento eléctrico, debido a que no hay contacto de metal con metal entre las unidades de conducción y las conducidas.
2. Hay menos ruido que con una transmisión por cadena.
3. Las bandas planas se pueden utilizar para distancias de centros grandes, en los que el peso de la cadena resultaría excesivo.
4. Las bandas planas se pueden utilizar a velocidades extremadamente altas, donde la inercia de la cadena debe considerarse en el ajuste de la cadena, en la tensión de la rueda dentada y de la cadena.
5. No se requiere lubricación.
6. La variación de la distancia entre centros de la flecha y alineamiento de la flecha son mucho menos críticos que para transmisiones por engranes o transmisiones por cadena.

2.2.2. Sistemas mixtos de transmisión

Los sistemas mixtos de transmisión son aquellos que utilizan dos o más de los sistemas antes mencionados para transmitir la potencia entregada por un motor a algún sistema con el fin de producir un trabajo. Este tipo de sistemas de transmisión es el más común, ya que es muy utilizado en la industria automotriz para poder transmitir la energía desarrollada en el motor.

2.2.2.1. Tipos de sistemas mixtos de transmisión

Existen múltiples combinaciones de sistemas mixtos que se aplican tanto a la industria manufacturera como a la industria automotriz, debido a que la combinación de estos sistemas proporcionan una gran flexibilidad al transmitir la potencia desde la fuente generadora de potencia al sistema que se desea mover, permitiendo la rotación de ejes, eliminación de ruido, transmisión de par y velocidad.

Las posibles combinaciones pueden ser:

Engranés con cadena, permite un alto par de salida, permite que los ejes estén distanciados, pero a bajas revoluciones.

Banda con engranes, en este modo puede haber dos posibilidades, la primera es que estén conectados por una flecha motriz y la banda mueva una polea, esto permite que del lado de la banda haya una gran velocidad y a la vez reducción de ruido, mientras del lado de los engranes se trabaja a bajas velocidades pero, regularmente, con un alto par. La segunda opción es que la banda sea dentada y sirve para mover a los engranes, este arreglo generalmente sirve para disminuir el ruido en un arreglo de engranes que necesitan estar sincronizados.

Cadenas con bandas, en este modo así como en el anterior existe la posibilidad de encontrarse conectadas por una flecha o que la banda contenga eslabones para ser movida por medio de una catarina.

Engranés, cadenas y bandas, esta combinación puede ser la más flexible de todas las anteriores, ya que permite al sistema tener alto rango de posibilidades, tanto de par como de velocidades, así como de la disposición del eje de entrada (motor) y el eje de salida.

2.2.2.2. Ejemplos y aplicaciones de sistemas mixtos de transmisión

Engranés con cadena, esta combinación es muy común en la industria agrícola, ya que la utilizan tanto en los tractores que utilizan para el arado, en los llamados mandos finales, así como para accionar los mecanismos de corte de las máquinas de recolección. También es utilizado por la industria constructora en maquinaria denominada para fuera de carretera al igual que en fabricas, etc.

Banda con engranes, este tipo de arreglo es muy común encontrarlo en la industria automotriz, figura 2.6, ya que por medio de estas dos alternativas es como generalmente en el vehículo que usamos diariamente, se mueven los engranes del árbol de levas así como los aditamentos o accesorios necesarios para el buen funcionamiento del vehículo, en las máquinas herramientas regularmente se utiliza un motor eléctrico para mover al mecanismo y en algunos casos engranes para seleccionar las velocidades, y se acoplan por medio de una banda, en algunos casos la selección de velocidades es por medio de bandas únicamente.

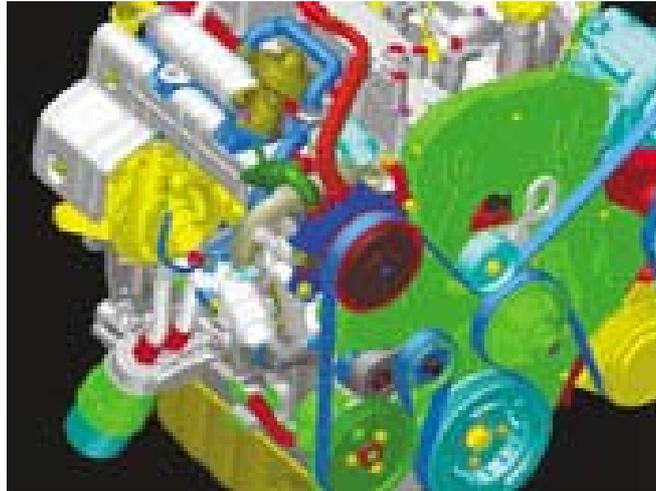


Figura 2.6. Uso de poleas con bandas en el motor.

Cadenas con bandas, este arreglo lo podemos ver en las máquinas de tortillería, donde los mecanismos se mueven con la ayuda de cadenas y las tortillas se transportan por medio de una banda, ó también como en la maquinaria que se mueve por medio de "orugas", en donde las orugas funcionan como banda y cadena al mismo tiempo, y al girar permiten que el vehículo se desplace por cualquier terreno.

Engranés, cadenas y bandas (CVT), este tipo de transmisión es el que se está poniendo más en moda con las nuevas cajas de transmisión semiautomáticas, figura 2.7, permitiendo con esto una marcha suave y poder seleccionar la velocidad deseada cuando uno quiera.



Figura 2.7. Transmisión de polea variable (CVT) con engranes.

2.3. Características de la transmisión del vehículo monoplaza

2.3.1. Principales características de la transmisión del vehículo monoplaza

El vehículo deberá de ser capaz de operar de manera segura en cualquier tipo de terreno, el cual puede incluir rocas, arena, troncos, pendientes muy inclinadas y lugares con agua, es por esto que el vehículo debe de tener una altura desde el suelo a su base para poder librar cualquier obstáculo (piedras, troncos, etc.) en el camino sin sufrir grandes daños. Debido a las pruebas que tiene que pasar este vehículo se requiere de una transmisión flexible y que tenga la mayor eficiencia posible ya que de esto depende su buen desarrollo durante las pruebas dinámicas así como durante la competencia. Por esto el sistema debe de ser ligero, con una amplia gama de velocidades y al mismo tiempo una alta relación de giro entre la entrada y la salida del sistema de transmisión logrando con esto cumplir con las expectativas del sistema, tanto de par de salida como aceleración y velocidad final.

2.3.2. Necesidades del vehículo tubular

Las pruebas que requiere pasar este vehículo se requieren que la transmisión dé el mayor par posible, también necesita tener una altura adecuada con respecto al piso debido a que en el terreno donde se desarrolla la competencia hay rocas grandes que pueden dañar a la carrocería o algunos sistemas que pasen por la parte baja del vehículo.

2.3.3. Desempeño de la transmisión del vehículo tubular

La transmisión debe de ser flexible, fácil de reparar o remplazar, y al mismo tiempo transmitir la fuerza y velocidad requeridas por el vehículo en cualquier tipo de terreno en el momento que este lo necesite.

2.4. Elementos de la transmisión

El sistema de transmisión tiene varios componentes, los cuales tienen una gran importancia ya que de estos elementos depende que el sistema tenga un buen funcionamiento, por lo que hay que tener especial cuidado en el diseño y la selección de cada uno de sus componentes.

2.4.1. Caja

La caja es un reductor de giro que permite reducir la velocidad angular que sale del motor y lo transmite a los neumáticos en forma de una mayor fuerza de giro, para permitir que el vehículo avance desde cero hasta la velocidad más alta que este pueda lograr. Hay que mencionar que lo más importante en el diseño de este elemento es encontrar la relación entrada salida que mejor se adapte a las necesidades, dependiendo del peso del vehículo y la velocidad final que se quiera alcanzar.

2.4.2. Polea

La polea es el acoplamiento que se usa para transmitir el giro del motor a la caja reductora figura 2.8, ya que es el sistema que más ventajas nos da al unir estos dos elementos porque cuando el vehículo este parado la polea tiende a deslizarse en la banda sin causar serios daños al sistema, y para poder obtener una gran gama de velocidades se usara una polea CVT, ya que este sistema de poleas reaccionan a la velocidad del motor y al torque de salida requerido por el vehículo.

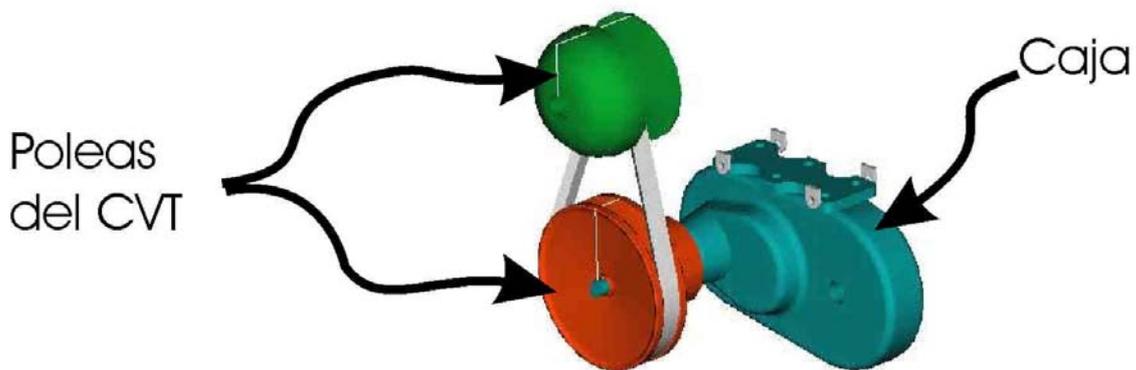


Figura 2.8. En esta figura se puede ver el arreglo de el CVT y la caja reductora

2.4.3. Acopladores

Estos elementos de la transmisión solamente se necesitan en la salida de la caja reductora, ya que son los que permiten tener una conexión entre la caja y los ejes de salida. Es eso que los acopladores deben de ser duros y resistentes a la torsión tratando de que a la vez sean ligeros y fáciles de colocar, también su mantenimiento debe de ser de una forma sencilla.

2.4.4. Ejes

Por medio de estos aditamentos se puede conectar la caja reductora con los neumáticos figura 2.9, los cuales son los que transmiten la fuerza del motor, transformando de esta forma el movimiento rotatorio del motor en movimiento lineal del vehículo, produciendo esto que el avance del vehículo sea determinado por las revoluciones de los neumáticos y la fuerza ejercida por el sistema de transmisión en estos.

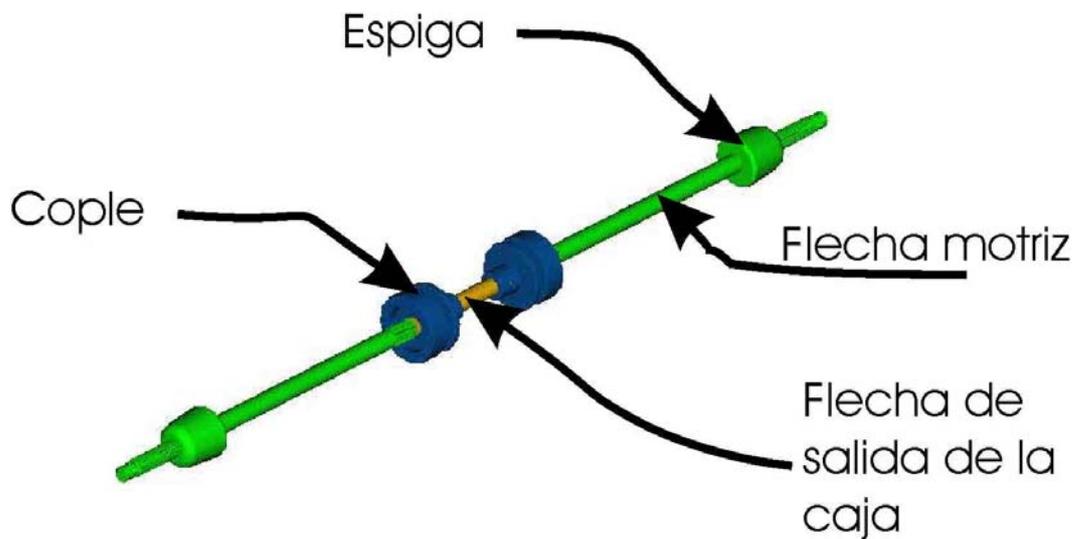


Figura 2.9. Aspecto del tren motriz

III. Análisis y decisión los elementos que componen al sistema de transmisión

3.1. Análisis de los componentes del sistema

3.1.1. Consideraciones para el diseño de la transmisión

El tren de potencia y sus componentes (motor, elementos de salida de movimiento, selector de engranes, mandos finales, etc.), tienen que ser combinados en una forma "armónica". A este proceso de selección se le llama "selección de tren de potencia". Los principales criterios de diseño para optimizar en este proceso son:

- Desempeño
- Consumo de combustible
- Emisiones y
- Comodidad

Este proceso de adaptación de la fuente de energía (motor) al sistema de salida de potencia (transmisión), tiene que ser tomado por ambos lados, seleccionando el motor para la transmisión y viceversa. En la práctica las características del motor dominan y las características de la transmisión se tienen que adaptar a la selección.

3.1.2. Análisis de los elementos del sistema

De un análisis detallado de cada sistema de transmisión, que se hizo en el capítulo anterior, se puede deducir que cada uno por sí solo tiene sus deficiencias, por lo que se propone hacer un sistema en el que se mezclen dos o más de los sistemas antes mencionados, se sugiere buscar un sistema que tenga una gran versatilidad y además proporcione un buen par de salida. Para estos propósitos es necesario que al diseño de la transmisión se haga a partir de las gráficas de velocidad de salida así como de torque de salida del vehículo, en la figura 3.1 se grafica el rango de velocidades del motor contra el rango de velocidad en las ruedas o el rango de velocidades en el camino.

Similarmente en la figura 3.2 se grafica el rango de par de salida del motor contra el rango de par de salida o tracción en las ruedas. El rango de velocidad y de par de salida del motor debe de ser referido como el "intervalo del motor". El intervalo del motor en conjunto con todos los cambios de relación de engranes nos da el campo de tracción de las ruedas. De esta manera la transmisión permite que se exploten las regiones de mayor eficiencia de combustible del motor, ya que el consumo de combustible está influenciado enormemente por la relación de engranaje de la caja de cambios desde los puntos de cambio seleccionados hasta la relación final especificada. Considerando esto se puede decir que entre las líneas de resistencia de manejo, representadas en una gráfica, durante una conducción ordinaria en una recta plana puede haber curvas de operación del motor

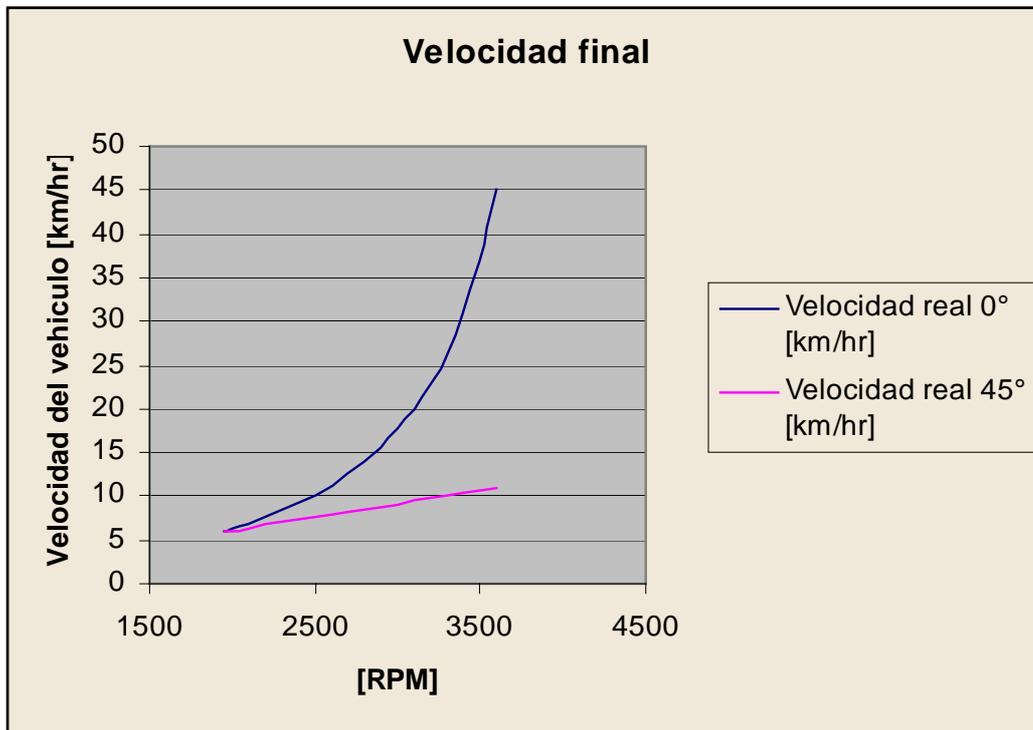


Figura 3.1. Relación de velocidades entre las RPM del motor y la velocidad real del vehículo.

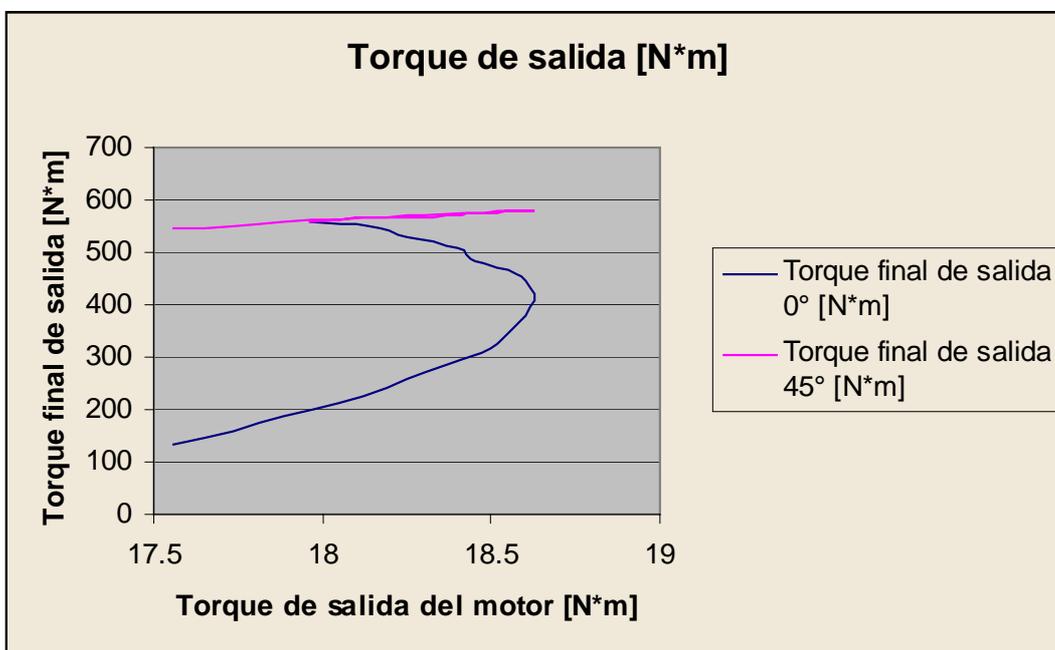


Figura 3.2. Relación que hay entre el par de salida del motor y el que se obtiene en los neumáticos.

“discretas” con transmisión de engranes, o toda una gráfica continua de operación con un sistema que utilice CVT en la transmisión, entre la mínima y máxima relación del tren de potencia.

Las gráficas anteriores se consiguieron con la ayuda de la ecuación que se deduce a continuación. La resistencia en las llantas esta definida por

$$F_R = f_R m_F g \cos \alpha_{st} \dots\dots\dots(1)$$

donde:

- $f_R = e / r_{dyn}$ = coeficiente de rodadura (depende del terreno)
- m_F = masa del vehículo
- g = aceleración de la gravedad
- α_{st} = ángulo de inclinación

la resistencia a la pendiente se calcula a partir del peso del auto actuando en el centro de gravedad

$$F_{st} = m_F g \sin \alpha_{st} \dots\dots\dots(2)$$

la expresión para calcular la resistencia del aire es la siguiente:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_L C_w A V^2 \dots\dots\dots(3)$$

- donde: ρ_L = densidad del aire = 1.199 kg / m³
- C_w = coeficiente de arrastre
- A = área proyectada del vehículo
- V = velocidad del vehículo

la resistencia a la aceleración se expresa generalmente en forma simplificada como sigue:

$$F_a = \lambda m_F a \dots\dots\dots(4)$$

- donde: a = aceleración del vehículo
- λ = coeficiente de inercia rotacional

Resultando del estado de equilibrio representado por $F_{Z,B}$

$$F_{Z,B} = F_R + F_{st} + F_L + F_a \dots\dots\dots(5)$$

Y substituyendo las formulas 1, 2, 3 y 4 en 5 obtenemos

$$F_{Z,B} = m_F g (f_R \cos \alpha_{st} + \sin \alpha_{st}) + \frac{1}{2} \rho_L C_w A V^2 + m_F \lambda a$$

De la expresión anterior se puede notar que la tracción disponible depende de la masa, la velocidad del vehículo, del área proyectada, el coeficiente de arrastre y el coeficiente de inercia rotacional. De donde se puede ver que la

velocidad y la masa del vehículo son determinantes para que el vehículo pueda tener un buen desempeño sobre el terreno.

3.1.3. Clasificación de sistemas de transmisión para el vehículo

Como ya se vio en el capítulo anterior hay una gran variedad de sistemas de transmisión, los cuales nos sirven para transformar la fuerza obtenida de una fuente de potencia en trabajo útil para el vehículo, o cualquier sistema de producción.

La transmisión es un elemento muy importante en un vehículo ya que es el medio por el cual se transmite la potencia del motor a las ruedas del vehículo y es la que nos va a dar la fuerza y velocidad de salida.

Para este propósito se analizaron varios tipos de sistemas de transmisión que pueden ser factibles para esta clase de vehículo. En el diseño se busca que este sistema resista grandes esfuerzos durante la competencia, la cual tiene un tiempo de duración relativamente grande, tomando en cuenta el tipo de terreno y que el vehículo es un prototipo hecho a mano.

3.1.3.1. Aspectos a considerar en la selección de los elementos del sistema

Los aspectos que se busca tener en consideración en este sistema de transmisión para poder cumplir con los requisitos que pide el reglamento serán los siguientes:

El ancho de la transmisión, de este aspecto depende en gran medida el ancho del vehículo en los neumáticos traseros, lo cual esta restringido a 152.4 cm, medida en la parte más ancha, incluyendo neumáticos, de acuerdo al reglamento.

La continuidad de la relación, esto es la facilidad con que el sistema transmite la potencia del motor a las ruedas, así como su rapidez de respuesta desde el reposo hasta su máxima velocidad en una forma continua y con el mínimo de pasos intermedios, buscando tener una marcha suave.

El costo, este aspecto también es muy importante ya que si este es muy elevado no se podrá comprar y a la vez aumentaría el costo de producción el cual también tiene ciertas desventajas del proyecto por parte del reglamento.

Distancia entre ejes, esto se refiere a la distancia que existe entre el eje de salida del motor y la salida de la transmisión, la cual es importante ya que nos determina el espacio que necesita el sistema.

Mantenimiento, esto es la facilidad para hacer un mantenimiento durante la competencia, que puede ser preventivo o correctivo, para poder hacer una reparación y poner en marcha lo más rápido posible al vehículo en caso de falla imprevista, ya sea a cada uno de los elementos o a todo el sistema en general.

Las partes comerciales, este aspecto también es importante debido a que determina la facilidad de conseguir las refacciones a un bajo costo, evitando tener

que fabricar las piezas, en caso de ocurrir alguna avería de los componentes del sistema de transmisión.

El peso de los componentes, es importante que el sistema sea lo más ligero posible, ya que de esto depende que la potencia del motor se ocupe para poder mover el vehículo o para poder darle una mayor velocidad.

La potencia transmitida, debido a las condiciones de funcionamiento del vehículo el sistema de transmisión debe de tener la mejor eficiencia posible ya que si la pérdida de potencia es grande las posibilidades de obtener un buen desempeño en la competencia disminuyen.

Seguridad, debido a que es un requisito indispensable, para que el vehículo pueda participar en la competencia es necesario tomar en cuenta con que facilidad, o con que rapidez y que tipo de material es necesario adicionar o implementar en el sistema para poder cumplir con las medidas de seguridad que marca el reglamento, buscando que no ocurran accidentes y evitando alguna lesión en el caso de que alguien se recargue en esa parte del vehículo sin precaución.

La sencillez, del sistema se determina por la facilidad para ensamblar los componentes al momento de armar el sistema, así como por el número de éstos.

3.1.3.2. Asignación de los factores de peso a cada aspecto

Se diseñará y se seleccionará el sistema más adecuado para del vehículo, de acuerdo a las necesidades que éste requiera durante la competencia, por lo que se le asignará un factor de peso a cada aspecto para la selección.

Se pretende que el método de selección sea lo más objetivo posible por lo que se hizo por medio de matrices de decisión. La primera matriz nos muestra como se eligieron los factores de peso (FP) comparando uno a uno los aspectos de interés. Para facilitar la comprensión de la matriz de decisiones se enlistarán los aspectos en orden alfabético en la tabla 3.1 y se les asignará una clave con el objeto de simplificar el procedimiento.

Aspecto	Clave
Ancho de la transmisión	A
Continuidad de la relación	B
Costo	C
Distancia entre ejes	D
Mantenimiento	E
Partes Comerciales	F
Peso de los componentes	G
Potencia transmitida	H
Seguridad	I
Sencillez	J

Tabla 3.1. Asignación de claves para elegir el valor de los FP.

3.1.4. Elementos propuestos para el sistema de transmisión

Se pretende que se tenga el mayor par de salida así como una velocidad final lo más alta posible para lo cual se analizarán tres tipos de transmisiones, por bandas, por cadena y por engranes así como sus mejores combinaciones para obtener una transmisión que nos proporcione una buena respuesta y una mejor eficiencia, por lo que a cada opción se le dará una calificación en cada aspecto, según se adapte mejor a las necesidades del vehículo. Para poder decidir cuál es la mejor opción de acuerdo a los aspectos antes seleccionados la calificación (C) se multiplicará por el FP y de esta forma se podrá obtener una calificación del sistema más objetiva para la selección del sistema más apropiado.

La forma de obtener la calificación del sistema se hizo de la siguiente manera:

$$C \cdot FP$$

Criterio de diseño	Continuidad de la relación	Distancia entre ejes	Ancho de la transmisión	Peso de los componentes	Potencia transmitida	Costo	Mantenimiento	Piezas comerciales	Seguridad	Total
FP										
Alternativas	0.20	0.18	0.16	0.04	0.11	0.13	0.04	0.07	0.07	1.00
Transmisión por bandas	80 16.00	60 10.80	87 13.92	85 3.40	94 10.34	90 11.70	90 3.60	98 6.86	80 5.60	82.22
Transmisión por cadena	80 16.00	60 10.80	87 13.92	85 3.40	94 10.34	90 11.70	90 3.60	98 6.86	80 5.60	82.22
Transmisión por engranes	92 18.40	99 17.82	85 13.60	79 3.16	98 10.78	80 10.40	96 3.84	93 6.51	98 6.86	91.37
CVT	99 19.80	60 10.80	80 12.80	89 3.56	90 9.90	83 10.79	98 3.92	90 6.30	94 6.58	84.45

Tabla 3.3. En esta tabla se aprecia cuales son los tipos de transmisión que mejor se acoplan al vehículo.

En la tabla 3.3 de la se puede apreciar como el mejor tipo de transmisión es el de engranes, pero debido a que es imposible tener a la caja de engranes conectada al motor y mantener al vehículo en reposo, es necesario que haya un sistema de acoplamiento entre el motor y la caja de engranes, para poder tener el motor funcionando y al vehículo parado, de lo cual se propone que el sistema sea del tipo mixto².

Este tipo de sistemas de transmisión son los más comunes, ya que son utilizados en la industria automotriz para poder transmitir la energía desarrollada

² Ver sección 2.2.2

en el motor al sistema de una manera más eficiente, reduciendo las pérdidas de potencia producidas por acoplamientos excesivos o configuraciones complicadas al utilizar un solo tipo de transmisión (engranes, bandas o cadenas), este tipo de sistemas de transmisión también reduce el espacio requerido para la instalación de todo el conjunto de aditamentos para el sistema debido a la gran variedad de configuraciones que se pueden obtener al utilizarlos.

3.1.5. Configuraciones propuestas

De acuerdo con lo antes mencionado, se sugieren los siguientes tres tipos de sistemas por tener una gran versatilidad, tener pocos componentes, cumplir con la mayoría de los aspectos antes mencionados y además de proporcionar un buen par de salida.

- CVT con reductor de cadena de dos pasos
- CVT con reductor mixto de engranes y cadena
- Embrague con caja de cambios.

Estos son los sistemas que se consideran más adecuados para el vehículo debido a su configuración, ya que es posible que cada configuración se instale en un espacio reducido, lo cual es importante para este tipo de vehículos, debido a que las dimensiones en donde se aloja este sistema no permiten que la distancia entre los componentes sea amplia, es por esto que se busca un sistema que entre sus ejes, la distancia sea la menor posible y así aprovechar el espacio de una manera más eficiente.

3.1.6. Evaluación de las configuraciones propuestas

Utilizando el mismo método de matrices de decisiones que la tabla anterior y para poder tener una buena evaluación de las configuraciones y debido a que los sistemas ya son compuestos por dos o mas aditamentos diferentes es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos, de los cuales cambiaron un poco los FP:

Aspecto	Factor de Peso
Continuidad de la relación	.16
Distancia entre ejes	.14
Costo total	.13
Peso de los componentes	.12
Ancho de la transmisión	.10
Potencia transmitida	.10
Mantenimiento	.09
Piezas comerciales	.08
Seguridad	.08

Criterio de diseño	Continuidad de la relación	Distancia entre ejes	Ancho de la transmisión	Peso de los componentes	Potencia transmitida	Costo total	Mantenimiento	Piezas comerciales	Seguridad gen.	Total
FP										
Alternativas	0.16	0.14	0.1	0.12	0.1	0.13	0.09	0.08	0.08	1
CVT con cadena de dos pasos	83	60	84	93	92	95	94	94	87	
	13.28	8.4	8.4	11.16	9.2	12.35	8.46	7.52	6.96	85.73
CVT con reductor mixto	93	85	89	91	94	92	97	92	96	
	14.88	11.9	8.9	10.92	9.4	11.96	8.73	7.36	7.68	91.73
Embrague con caja de cambios	90	81	70	80	90	80	90	88	96	
	14.4	11.34	7	9.6	9	10.4	8.1	7.04	7.68	84.56

Tabla 3.4. Aquí se aprecia cual es la mejor configuración que se requiere para un mejor funcionamiento del vehículo.

Como se puede notar, en la tabla 3.4, la mejor selección es CVT con reductor mixto, ya que esta configuración proporciona un cambio continuo en la marcha del motor, para que el conductor tenga una mayor comodidad durante el desempeño de la transmisión, el CVT también funciona como medio de acoplamiento entre el motor y la transmisión, y en combinación con un reductor de giro, el cual consiste en dos juegos de engranes rectos y una reducción de cadena, con este sistema se busca la eliminación de acoplamientos directos, eliminación de ruido, y conservar el mayor par posible en la salida. Cabe mencionar que este tipo de sistemas se esta implementando en una gran variedad de vehículos nuevos debido a la suavidad de marcha que permite.

La configuración final que se obtuvo del sistema de transmisión se puede ver en el diagrama de flujo que se muestra en la figura 3.3.

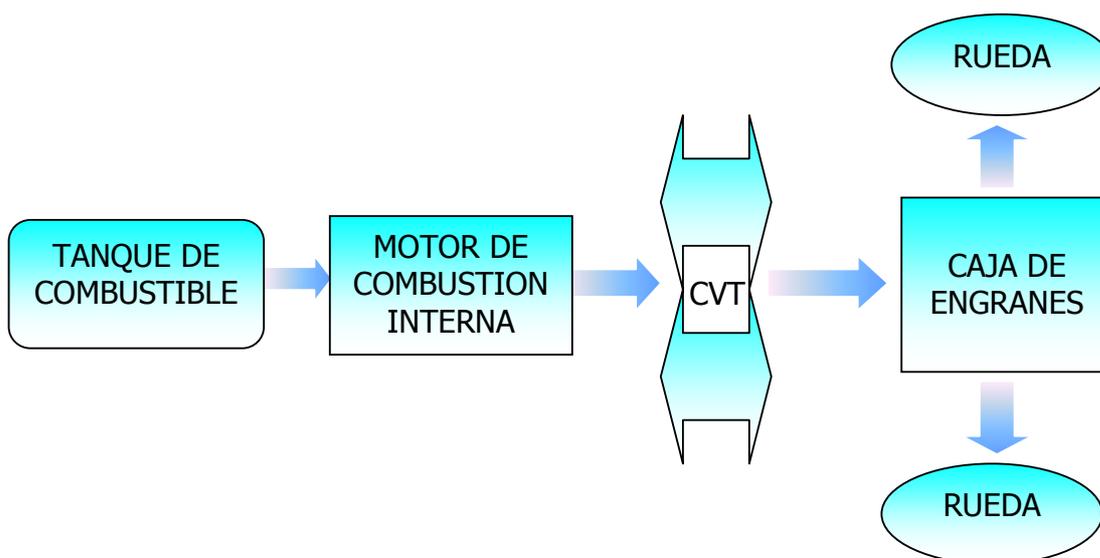


Figura 3.3. Este es el diagrama de bloques del sistema de transmisión que se seleccionó para usar en el vehículo monoplaza.

Otro aspecto que también es muy importante para tomar en cuenta es el costo de los elementos del sistema, para este propósito, y para facilidad de mantenimiento se buscó que la mayoría de los elementos sean comerciales, esto es que se puedan conseguir fácilmente en cualquier distribuidor automotriz, además de que la fabricación de las piezas requeridas sea la menor posible, buscando que todos los elementos cumplan con los requerimientos necesarios para la competencia de mini baja. En la tabla 3.5 se muestran los costos de los elementos que componen al sistema de transmisión.

Pieza	Marca	Origen	Costo de producción	No de piezas	Costo total	Tiempo de vida
CVT	COMET	IMPORTADO	1657.5	1	1675.5	3 AÑOS
R-ZEPPA	VW	NACIONAL	180	2	360	3 AÑOS
JUNTA HOMOCINÉTICA	VW	NACIONAL	150	2	300	3 AÑOS
FLECHA MOTRIZ	VW	NACIONAL	250	2	500	5 AÑOS
REDUCTOR MIXTO	COMMET	IMPORTADO	6375	1	6375	6 AÑOS
COPE	Fi UNAM	NACIONAL	150	2	300	3 AÑOS
SOPORTE	FI UNAM	NACIONAL	200	1	200	3 AÑOS
MOTOR	BRIGGS & STRATTON	IMPORTADO	3825	1	3825	6 AÑOS
TORNILLOS	GRADO 5	NACIONAL	5	12	60	3 AÑOS
TORNILLOS	GRADO 8	NACIONAL	8	4	32	3 AÑOS

Tabla 3.5. Este es la tabla de los elementos que lleva el conjunto, así como su costo de producción y la vida útil de cada elemento.

3.2. Diseño de los elementos del sistema

3.2.1. Consideraciones del diseño

El reductor de giro con diferencial en combinación con el CVT, que nos da la relación de salida hacia los neumáticos, y es la conexión del motor con el sistema de transmisión, son partes comerciales compradas, debido a que sus características técnicas son las deseadas para este vehículo, y la fabricación de tales elementos sería muy costoso para la Facultad de Ingeniería, además de que cada elemento abarcaría un espacio mucho mayor si quisiéramos obtener la relación de salida que se busca tener en el sistema, los elementos a diseñar serán principalmente aquellos que sirven para acoplar al reductor de giro con los neumáticos, ya que algunas partes de este sistema lleva piezas comerciales, como se vio en la sección anterior. Es por esto que hay que buscar la forma de unir las piezas que no son de la misma marca comercial y que no hay piezas comerciales para conectarlas.

3.2.2. *Estado del arte*

En los modelos anteriores del vehículo monoplaza Mini Baja[®] de la Facultad de Ingeniería el sistema que se ha utilizado como acoplamiento entre la caja y los neumáticos han sido las juntas universales tipo cardan, pero se ha visto que tiene poca flexibilidad y capacidad de extensión debido a que el recorrido sobre la flecha es poco y tiene pocos grados de libertad ya que sólo cuenta con un plano de giro, otro aspecto es que necesitan cuatro cuñas por lado para poder hacer el acoplamiento entre flechas, causando de esta manera varios concentradores de esfuerzos, tanto en la flecha de salida de la caja como en la flecha motriz, haciendo más laboriosa la manufactura de las flechas y al mismo tiempo incrementando la probabilidad de falla por fatiga debido a los concentradores de esfuerzos creados en cada flecha. Es por esto que se propone que se usen las juntas universales Rzeppa del tipo de campana en combinación de las juntas universales Cross Groove, la primera va del lado del neumático y la segunda del lado de la caja, dando una mayor flexibilidad y capacidad de extensión al sistema, así como una mayor facilidad de mantenimiento al no tener que desmontar toda la suspensión para cambiar cualquier parte de los componentes del tren motriz.

3.2.2.1. *Características técnicas de las juntas universales*

Existan varios tipos de juntas universales que sirven en la configuración del tren motriz de los vehículos en general, pero dependiendo de las características deseadas de flexibilidad, eficiencia, durabilidad y del tipo de trabajo al que esté sometido el sistema, esto es el tipo de terreno y la carga del vehículo, es el tipo de junta universal que se usa. Como se muestra en la figura 3.4 las juntas universales se pueden usar en diferentes partes del vehículo, según sea la aplicación.

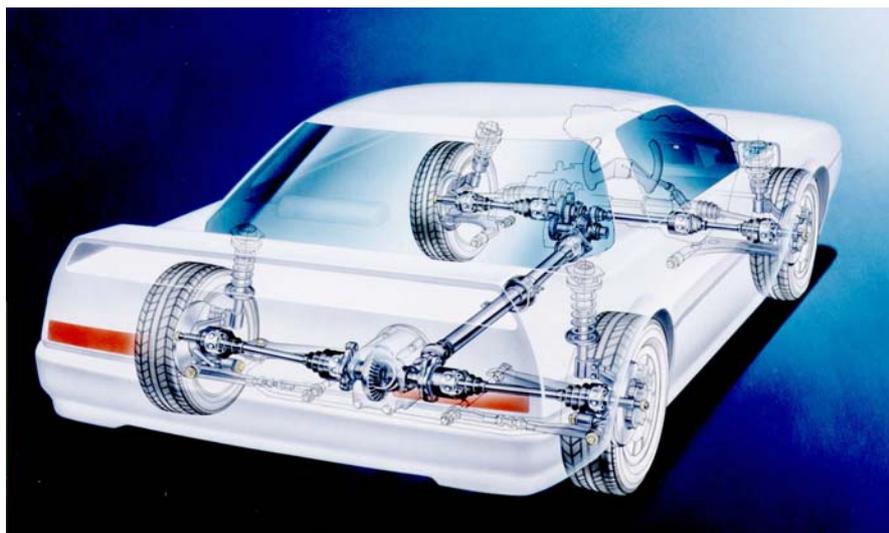


Figura 3.4. Ejemplos del uso de las juntas universales en un vehículo.

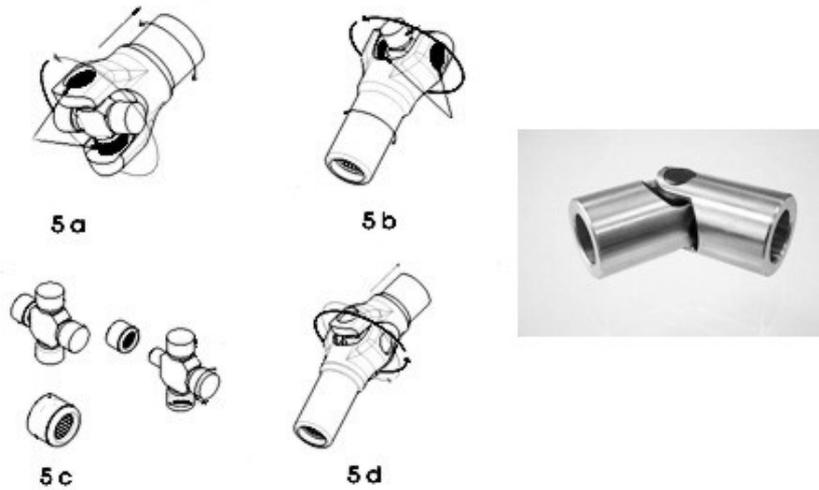


Figura 3.5. Partes de la junta universal tipo cardan. 5a yugo de entrada, 5b yugo de salida, 5c cruceta, 5d aspecto del conjunto.

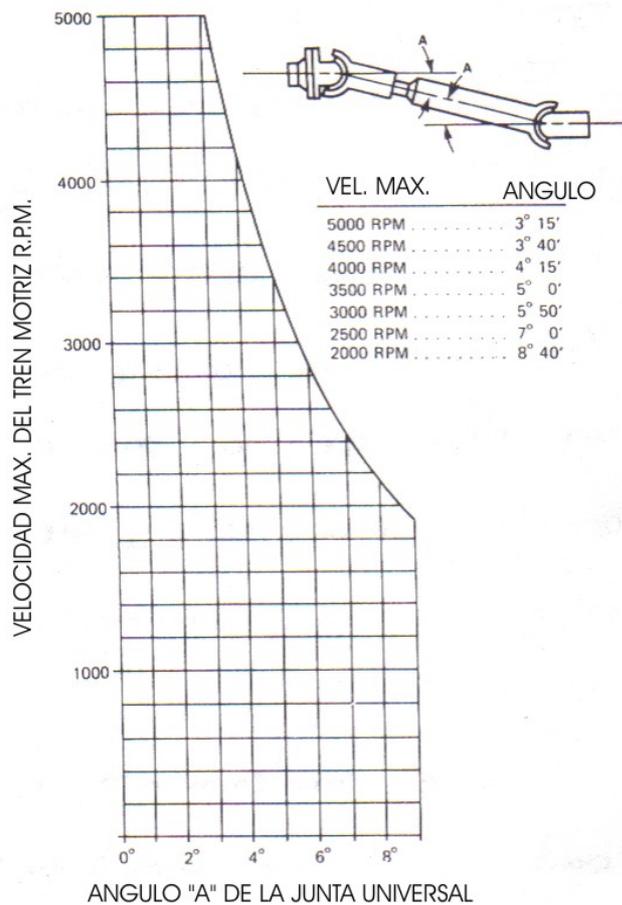


Figura 3.6. Ángulo de operación máximo de la junta universal tipo cardan.

El tipo de junta universal más común es del tipo de cruceta con yugo (tipo cardan). Los yugos se usan en el extremo de la flecha quedando en oposición con otro yugo y se unen por medio de la cruceta con los brazos de sujeción a 90° cada uno como se muestra en la figura 3.5.

Junta universal tipo cardan tiene la desventaja de producir una gran vibración al momento de girar, debido a que por sus características físicas, aumenta o disminuye la velocidad de la flecha al momento de cambiar de posición, esto es cada 90° de rotación figura 3.6. Cuando esta opera con algún ángulo entre las flechas reduce su eficiencia y causa una aceleración rotacional no necesaria a la flecha en cada giro, mientras mayor sea el ángulo mayor será la aceleración. Es por eso que este tipo de junta tiene una eficiencia para transmitir la fuerza de torsión de 90-95%.

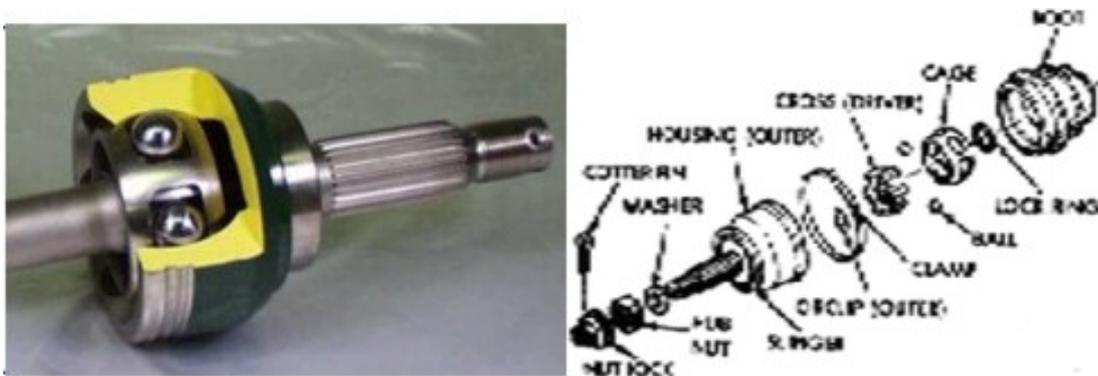


Figura 3.7. Junta universal Rzeppa.

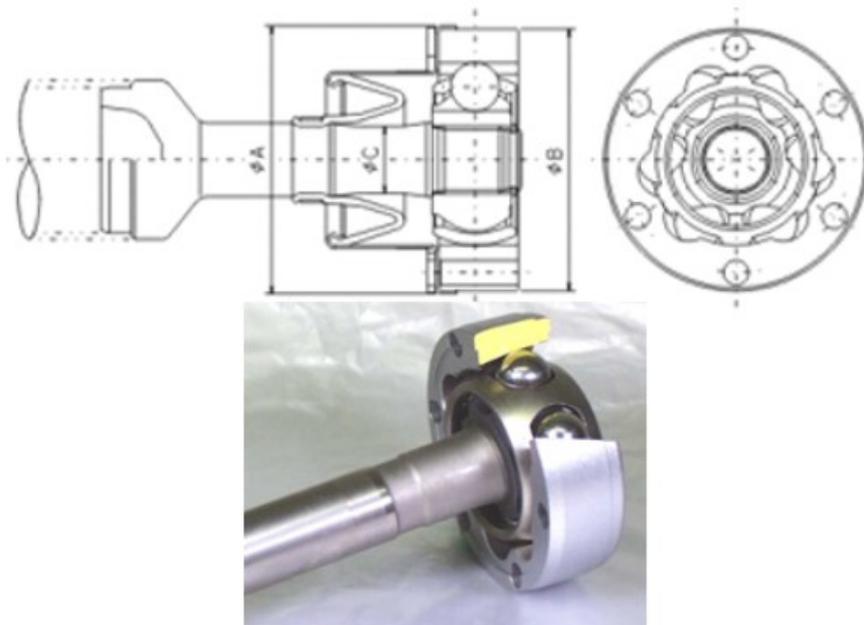


Figura 3.8. Junta universal Cross Groove.

Junta universal Rzeppa (shepa) figura 3.7 este tipo de junta es de salida, esto es: va al final del tren motriz, conectando la transmisión al neumático. La junta universal Rzeppa es la más común de este tipo debido a su gran flexibilidad para transmitir la fuerza en una gran cantidad de posiciones. Esto es posible por que lleva seis bolas esféricas localizadas entre la pista interior y la pista exterior, sostenidas por una pequeña jaula.

Junta universal Cross Groove de disco deslizante figura 3.8. Este diseño también es del tipo Rzeppa por lo que tiene un arreglo de seis bolas, pero su uso es exclusivamente interno, esto es, del lado de la transmisión del tren motriz, es prácticamente igual al anterior pero con la diferencia que esta permite un deslizamiento de la flecha, cambiando así de longitud el tren motriz, mientras trabaja el brazo de la suspensión. Este tipo de junta, al igual que la anterior tiene una eficiencia cerca del 99% con un ángulo de más del doble al de la junta cardan como se muestra en la figura 3.9.

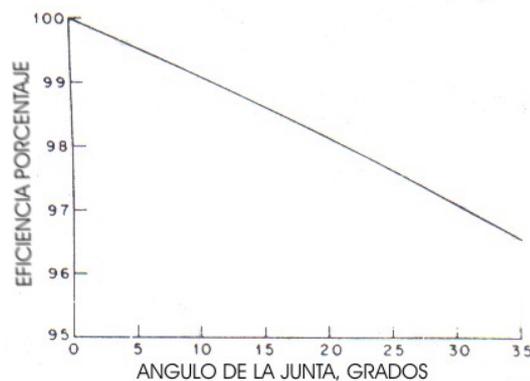


Figura 3.9. Eficiencia de la junta universal CV de bolas (Rzeppa).

3.2.2.2. Ventajas de las Juntas Universales Rzeppa

Como se mostró anteriormente las juntas universales Rzeppa tienen mejores ventajas técnicas sobre las juntas universales tipo cardan, en la configuración de los vehículos anteriores, tan solo lleva una junta universal tipo cardan en cada brazo, del lado de la transmisión, por lo que el sistema se ve limitado a pocos grados de libertad, además de dificultar su desmontaje, ya sea para mantenimiento o para reparación del tren motriz haciendo necesario que se desmonte todo el sistema de suspensión, y esto lleva a un gran consumo de tiempo, que puede ser valioso cuando se está en la competencia. En cambio si se usa un tren motriz con juntas universales Rzeppa además de facilitar el mantenimiento debido a que se acopla por medio de tornillos a la base de la transmisión, el lado del neumático también es flexible por lo que le da al sistema una gran flexibilidad, la cual es necesaria debido al tipo de terreno en el que el vehículo se desplaza.

3.2.3. Opciones de CVT con reductor de giro

Los conjuntos de CVT con reductor de giro que se tienen para este vehículo de acuerdo con las características seleccionadas anteriormente son dos CVTs diferentes y dos reductores de giro diferentes, ambos reductores son del tipo mixto y son comerciales, por lo que se usara el conjunto que provea las mejores características al sistema y la mejor gama de relaciones de velocidad y par de salida. Buscando de esta manera que el vehículo logre tener el mejor desempeño posible durante la competencia y mayores ventajas al momento de estar en operación.

3.2.3.1. Los CVTs disponibles son: Comet Modelo 780S y Modelo 500

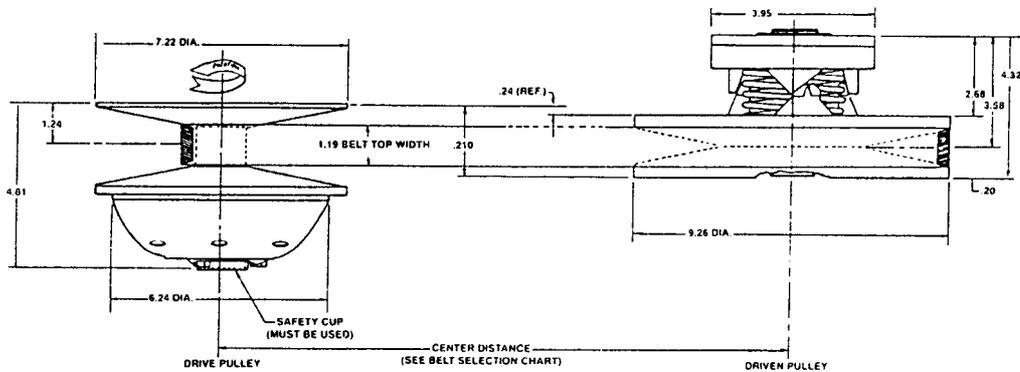


Figura 3.10. Dimensiones del CVT modelo 780, medidas en pulgadas.

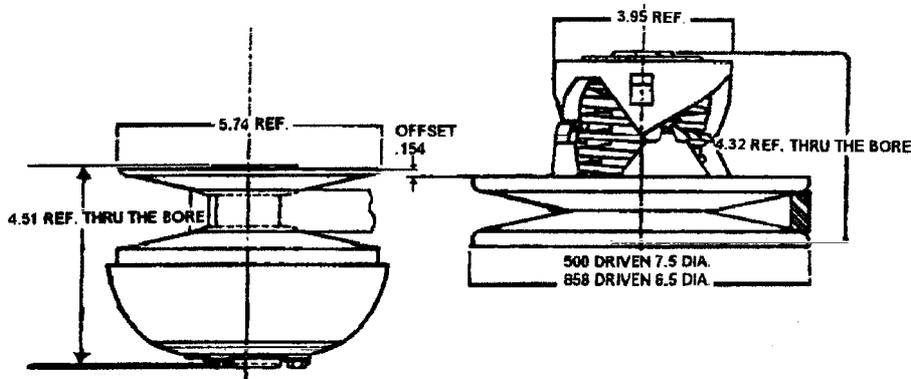


Figura 3.11. Dimensiones y vista del CVT modelo 500, medidas en pulgadas.

Especificaciones del CVT modelo 780 figura 3.10

Rango del motor:	2 Ciclos – 30 h.p.,	4 Ciclos – 15 h.p.
Diámetro de la maza:	25.4 mm polea conductora	19 mm polea conducida.
Velocidad de acoplamiento:	1950 RPM	3800 RPM máx.
Radio de reducción:	Alta 3.71	Baja .69

Especificaciones del CVT modelo 500 figura 3.11

Rango del motor:	2 Ciclos – 25 h.p.,	4 Ciclos – 16 h.p.
Diámetro de la maza:	25.4 mm polea conductora	19 mm polea conducida.
Velocidad de acoplamiento:	1950 RPM	4000 RPM máx.
Radio de reducción:	Alta 3.71	Baja .69

3.2.3.2. Reductor de giro Comet

Este reductor de giro tiene una relación de salida de 9.2, es del tipo mixto, tiene un peso de 25 Kg, la flecha de entrada es de 19 mm con cuñero y la flecha de salida es de 25.4 mm figura 3.12.

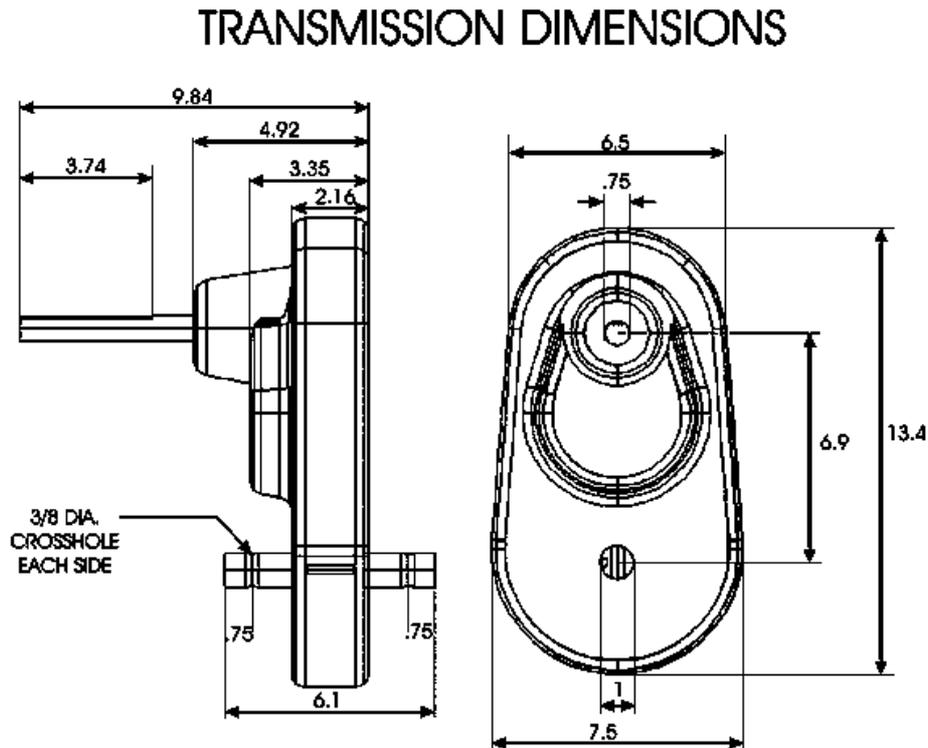


Figura 3.12. Dimensiones del reductor de giro Comet. Medidas en pulgadas.

3.2.3.3. Reductor de giro Comet Transaxel Cutaway

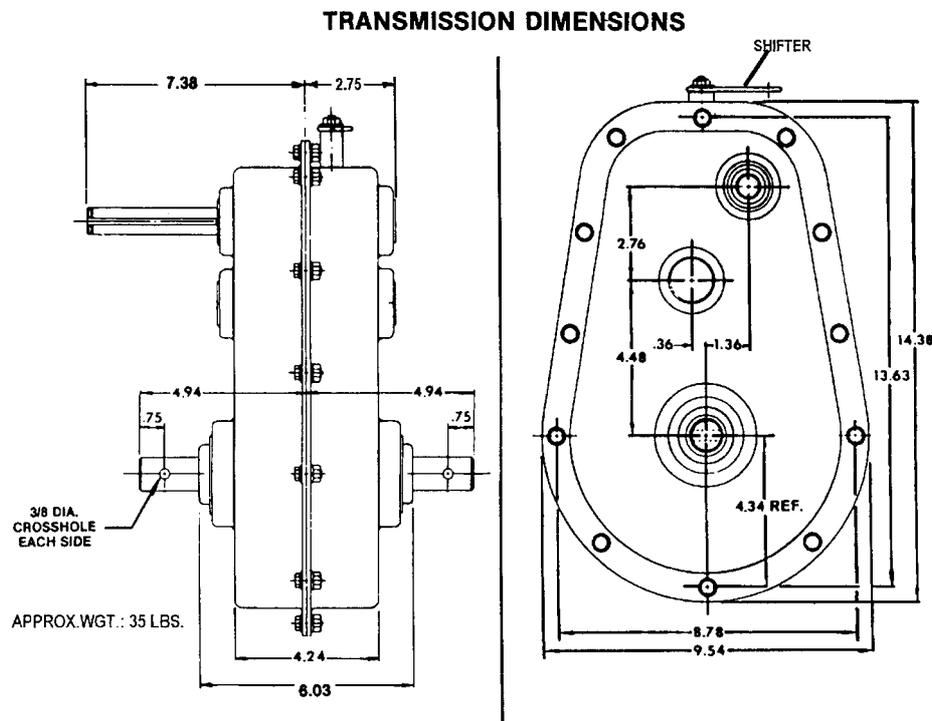


Figura 3.13. Dimensiones del reductor de giro transaxel cutaway, medidas en pulgadas.

Este reductor tiene una relación de salida de 8.3 además de contar con reversa y diferencial, es del tipo mixto, tiene un peso de 28 Kg, la flecha de entrada es de 19 mm con cuñero y la flecha de salida es de 25.4 mm figura 3.13.

Debido a que el reductor de giro transaxel cutaway nos permite tener la opción de reversa, y que su relación de salida es menor, permitiendo esto una mayor velocidad del vehículo, siempre y cuando se reduzca el peso total este, se seleccionó en conjunto con el CVT modelo 500 debido a que sus dimensiones son mucho menores, reduciendo esto el espacio requerido para el sistema, además de tener una menor distancia entre los centros de las flechas de entrada y salida.

Como estos dos últimos aditamentos son comerciales, no se hará el cálculo de los elementos que la integran, tan solo de los que se tienen que modificar o fabricar para acoplar los elementos el sistema.

3.3. Cálculo de los factores de seguridad de los elementos del sistema

La flecha motriz, el cople y la flecha de salida de la caja de la transmisión serán manufacturadas con el fin de unirlos con las juntas homocinéticas. Y como las necesidades del vehículo y las juntas restringen las dimensiones, este análisis se enfocara principalmente para la selección del material debido a que necesitan tener un importante factor de seguridad.

Finalmente el tren motriz quedó como se muestra en la siguiente figura 3.14:
Diagrama representativo

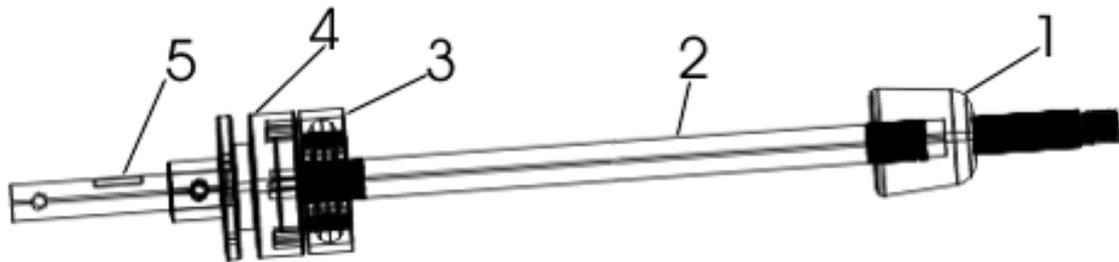


Figura 3.14. En esta figura se pueden apreciar los elementos del tren motriz de la transmisión. 1 junta universal Rzeppa, 2 flecha de salida, 3 junta universal Cross Groove, 4 cople, 5 flecha motriz.

3.3.1. Análisis de la flecha de salida

Esta flecha estará bajo una carga de torsión pura, esto se puede demostrar debido a que las cargas generadas por el peso son tan pequeñas en comparación con la cargas de torsión que se pueden despreciar. La torsión en la flecha, figura 3.15 mostrara fluctuaciones debido a la variación de la velocidad en el vehículo

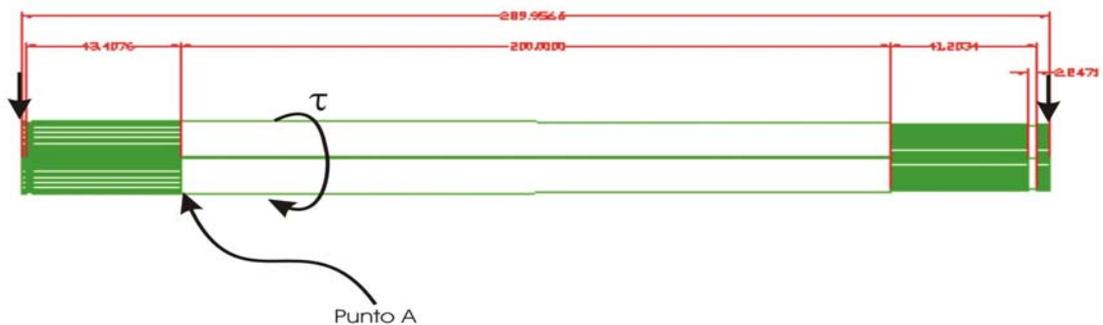


Figura 3.15. Esquema de la flecha de salida con sus medidas, medidas en milímetros.

Debido a las fluctuaciones de momentos de torsión que tienen, en el diseño de las flechas se puede usar al método de flexión torsión fluctuante, teniendo en

cuenta que la flexión no es un factor importante, las ecuaciones se vuelven mucho más fáciles para hacer el cálculo del estado de esfuerzos.

El análisis se realizara en el punto A debido a que es el punto donde hay un cambio de diámetro, el cual crea un concentrador de esfuerzos como se muestra en la figura 3.15.

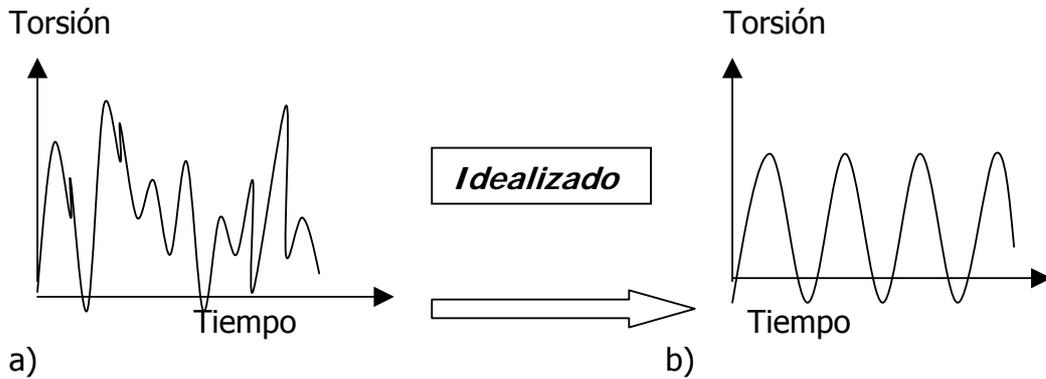


Figura 3.16.

Este análisis se hará en el punto crítico A por la diferencia de diámetros que existe, el cual es el mayor concentrador de esfuerzos en la flecha.

Como se muestra en la figura 3.16 los extremos y los componentes medios llevan una carga de torsión equivalente:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{k_{fs} 16 T}{\pi d^3} \quad \dots (1)$$

En este caso: $T = \frac{T_{max}}{2}$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{k_{fs} 8 T_{max}}{\pi d^3} \quad \dots (1')$$

Quedando:

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1) \quad \dots (2)$$

k_{ts} = Factor geométrico

q = Sensibilidad a las muescas

Los valores de estos factores se pueden determinar usando tablas experimentales, por lo que en este caso:

$$k_{ts} \approx 1.30$$

$$q \approx 1$$

Quedando:

$$k_{fs} = 1 + (1)(1.3 - 1) = 1.3$$

El valor máximo a la torsión dado por el reductor de engranes es $T_{max} = 412.3844 [N * m]$.

Ahora el esfuerzo cortante puede calcularse con estos valores:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{(1.3)(8)(412.3844)}{\pi d^3} = 64.93 [MPa]$$

El metal sugerido es un AISI 4140 revenido, con una resistencia máxima de $S_u = 655 [MPa]$, la resistencia a la fatiga es:

$$S'_e = 0.5 S_u = (0.5)(655) = 327.5 [MPa]$$

y al esfuerzo cortante:

$$S'_{es} = 0.58 S'_e = (0.58)(327.5) = 189.95 [MPa]$$

Este valor decrece con los factores de corrección por fatiga:

Factor	Concepto
$C_{load} = 1$	Carga de torsión pura
$C_{size} = 0.96$	Se obtuvo de tablas experimentales para el diámetro crítico
$C_{surface} = 0.8$	Flecha girando
$C_{temperature} = 1$	No hay altas temperaturas
$C_{reliability} = 0.9$	Se busca una confianza del 90%
\therefore	

$$S_{es} = (1)(0.96)(0.8)(1)(0.9)(189.95) = 131.29 \text{ [MPa]}$$

Por tanto el factor de seguridad es:

$$N_f = \frac{S_{es}}{\tau} = \frac{138.59}{64.93} = 2.04$$

El factor de seguridad calculado es suficiente para el diseño ya que este puede soportar dos veces el esfuerzo para el que fue diseñado con una confianza del 90%.

3.3.2. Análisis del cople

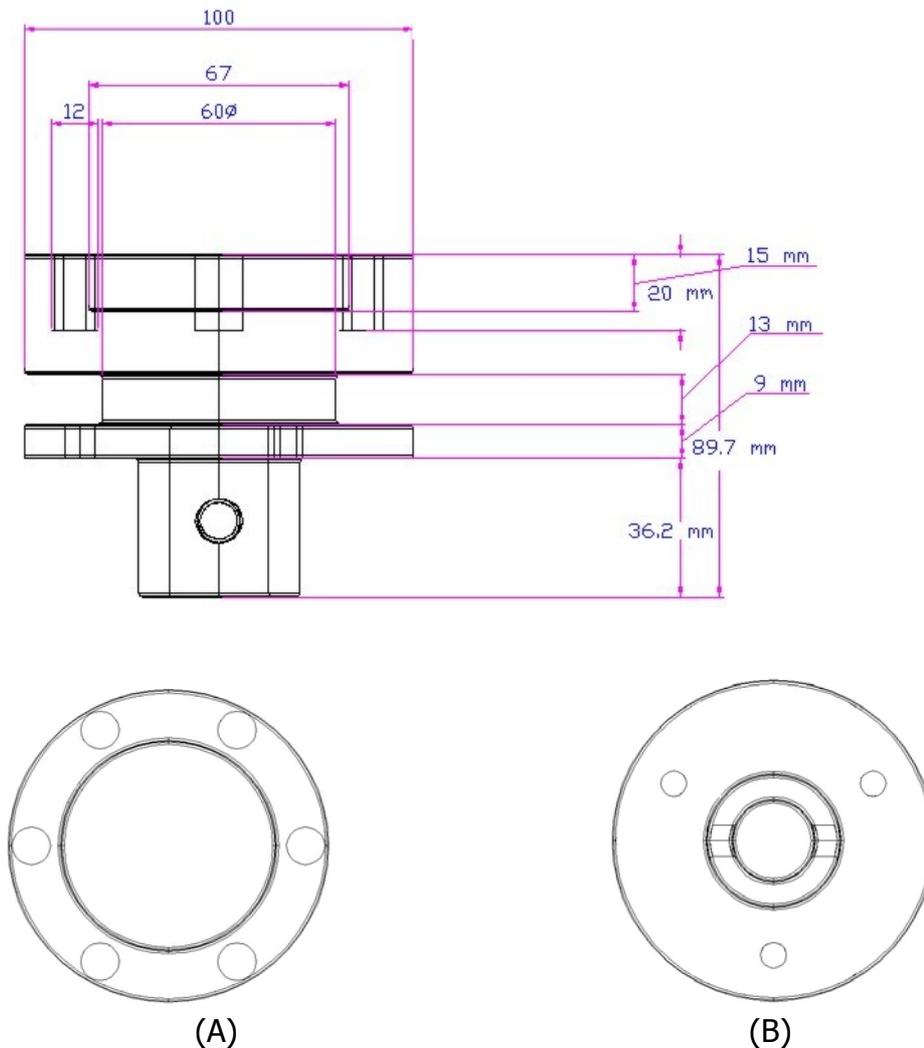


Figura 3.17. Figura del cople con medidas y vistas de las secciones A y B. Acotaciones en mm.

Como en la flecha motriz, el cople también estará sujeto a torsión pura, por tanto el calculo resulta similar al anterior,. El cople tiene dos secciones de interés: sección (A) y sección (B) figura 3.17.

3.3.2.1. Análisis para la sección (A)

Comenzando por la ecuación general para el esfuerzo cortante por torsión:

$$\tau = k_{fs} \frac{Tr}{J} \quad \dots (3)$$

de donde: $J = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$ $r = \frac{D}{2}$

El cople tiene 6 perforaciones como se muestra en la figura 3.12 que se deben de considerar al calcularlo:

$$D = 100 \text{ mm}$$

$$\phi_{hole} = 7 \text{ mm}$$

Entonces:

$$D' = D - 2\phi_{hole} = 100 - 2(7) = 86 \text{ mm}$$

El diámetro D' será usado en la ecuación (3) para calcular el esfuerzo cortante por torsión en la sección (A):

$$\tau = k_{fs} \frac{T_{max}}{2} \frac{D'}{2} \frac{32}{(D'^4 - d^4)} = k_{fs} \frac{8T_{max}D'}{\pi(D'^4 - d^4)} \quad \dots (4)$$

Después el factor de concentración de esfuerzos se calcula con la ecuación (2):

Para este caso: $k_{ts} \approx 1.8$
 $q \approx 1$

Donde:

$$k_{fs} = 1 + 1(1.8 - 1) = 1.8$$

Ahora el valor del esfuerzo cortante se puede calcular:

$$\tau = \frac{(1.8)(8)(412.3844)(0.086)}{\pi[(0.086)^4 - (0.072)^4]} = 5.84 [MPa]$$

Como el cople va a ser manufacturado con el mismo material que la flecha motriz la resistencia a la fatiga para el esfuerzo al corte tiene el mismo valor:

$$S'_{es} = 189.95 [MPa]$$

Este valor se reduce con los factores de fatiga:

Factor	Concepto
$C_{load} = 1$	Carga de torsión pura
$C_{size} = 0.76$	Se obtuvo de tablas experimentales para el diámetro crítico
$C_{surface} = 0.8$	Flecha girando
$C_{temperature} = 1$	No hay altas temperaturas
$C_{reliability} = 0.9$	Se busca una confianza del 90%

∴

$$S_{es} = (1)(0.76)(0.8)(1)(0.9)(189.95) = 103.94 [MPa]$$

Calculando el factor de seguridad:

$$N_f = \frac{S_{es}}{\tau} = \frac{103.94}{5.84} = 17.8$$

Después de calcular el factor de seguridad se puede ver que la sección A del cople esta pasada, pero no se puede hacer mas pequeña debido a que necesita ajustarse al tamaño de la junta homocinética.

3.3.2.2. Análisis para la sección (B)

Esta parte del cople tiene un orificio de 19.05 milímetro en el lado izquierdo, por lo tanto los cálculos se realizaran en esta parte.

La ecuación 4 será útil otra vez en este nuevo análisis al igual que la ecuación 2:

En este caso: $k_{ts} \approx 1.5$ $q \approx 1$

Entonces:

$$k_{fs} = 1 + 1(1.5 - 1) = 1.5$$

Remplazando los valores en la formula:

$$\tau = \frac{(1.5)(8)(412.3844)(0.0508)}{\pi[(0.0508)^4 - (0.019)^4]} = 12.25 \text{ [MPa]}$$

Los factores de corrección por fatiga deben de ser considerados otra vez:

Factor	Concepto
$C_{load} = 1$	Carga de torsión pura
$C_{size} = 0.6$	Se obtuvo de tablas experimentales para el diámetro crítico
$C_{surface} = 0.8$	Flecha girando
$C_{temperature} = 1$	No hay altas temperaturas
$C_{reliability} = 0.9$	Se busca una confianza del 90%

∴

$$S_{es} = (1)(0.6)(0.8)(1)(0.9)(189.95) = 82.06 \text{ [MPa]}$$

Por tanto el factor de seguridad es:

$$N_f = \frac{S_{es}}{\tau} = \frac{82.06}{12.25} = 6.7$$

Otra vez la pieza resulta pasada excesivamente pero en este caso hay la posibilidad de hacer un diámetro más pequeño en esta sección, el nuevo diámetro será de 38.1 milímetros y este todavía conservara un buen factor de seguridad.

3.3.3. Análisis de la flecha motriz

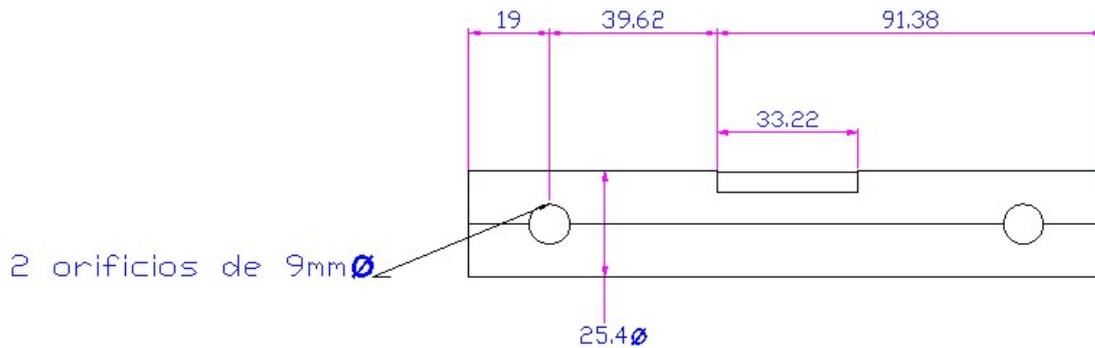


Figura 3.18. Flecha motriz con sus dimensiones. Acotaciones en mm.

Esta flecha motriz no puede ser analizada como la flecha de salida figura 3.18, en donde se considero tan solo carga torsional pura, la flecha de transmisión llevara un engrane. Este engrane creara una fuerza y una flexión en la flecha, esto cambia totalmente el método de calculo debido a que hay un estado de esfuerzos biaxial complejo, la parte que este dentro de la caja experimentara este efecto, por lo tanto el calculo se realizara en esta zona.

Primero la fuerza que es transmitida por el engrane debe de ser calculada. Se conoce que el máximo par de torsión que sale de la caja es

$$T_{max} = 412.3844 [N * m]$$

y el diámetro del engrane es 15.24 centímetros:

$$T_{max} = F_{max} r \quad \dots (5)$$

Ademas:

$$r = \frac{D}{2}$$

Donde:

$$F_{max} = \frac{412.3844}{0.0762} = 5.412 [KN]$$

El valor calculado es la componente tangencial de la fuerza de empuje. Ahora la componente radial se determina como:

$$F_R = F_{max} \tan(20^\circ) \quad \dots (6)$$

Quedando:

$$F_R = (5412)(0.3640) = 1.970 [KN]$$

Ahora las ecuaciones de equilibrio para cada plano (xy y yz) quedan de la siguiente manera:

Para el plano xy:

$$\sum F_y = R_{By} + R_{Cy} + F_{max} = 0 \quad \dots (7)$$

$$\sum M_B = F_{max} (0.0381) + R_{Cy} (0.0762) = 0 \quad \dots (8)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$R_{By} = 2.706 [KN]$$

$$R_{Cy} = 2.706 [KN]$$

Para el plano yz:

$$\sum F_x = R_{Bx} + R_{Cx} + F_R = 0 \quad \dots (9)$$

$$\sum M_B = R_{Cx} (0.0762) + F_R (0.0381) = 0 \quad \dots (10)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$R_{Bx} = 985 [N]$$

$$R_{Cx} = 985 [N]$$

Ahora con estos valores se hace un diagrama de la fuerza de corte y de la fuerza de flexión:

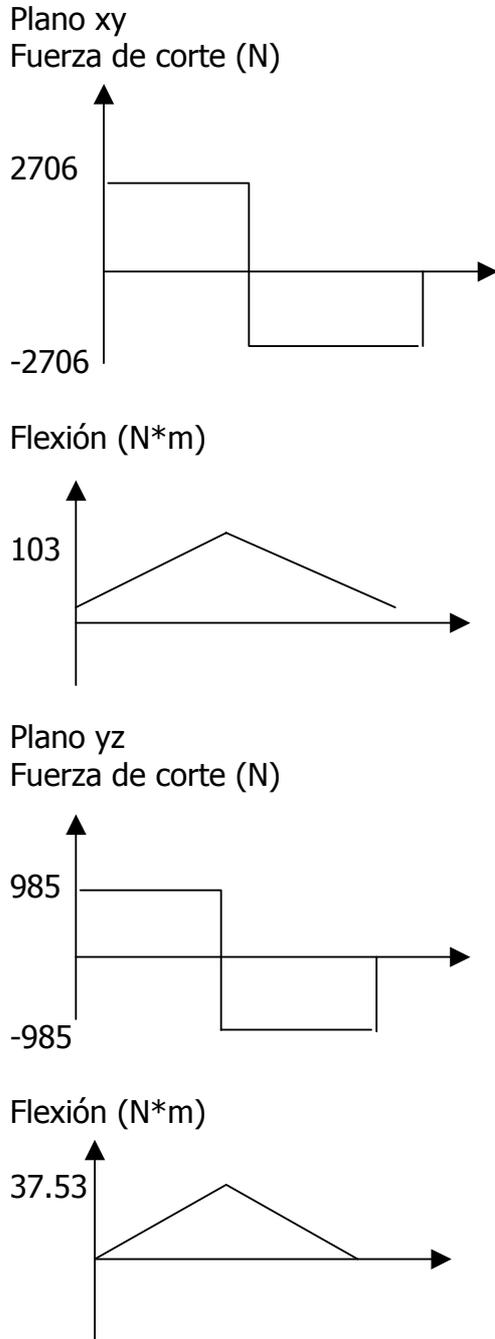


Figura 3.19. Diagramas de fuerza de corte y flexión en el plano yz.

Como se muestra en la gráfica de arriba el punto crítico es justo en la mitad de esta parte de la flecha, el valor de la flexión total se puede calcular usando el teorema de Pitágoras:

$$M_{total} = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{yz}^2} \quad \dots (11)$$

Entonces:

$$M_{total} = \sqrt{(103.10)^2 + (37.52)^2} = 109.71 [N * m]$$

La flexión en la flecha sigue un comportamiento alternante:

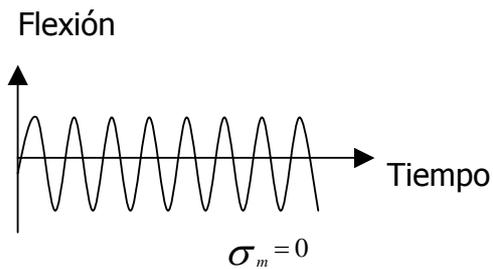


Figura 3.20. Diagrama de la flexión en el tiempo de la flecha motriz.

Ahora el esfuerzo normal de cedencia se puede calcular:

$$\sigma_a = k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3} \quad \dots (12)$$

Y:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \dots (13)$$

Para este caso:

$$k_t \approx 1.75$$

$$q \approx 1$$

Donde:

$$\sigma_a = \frac{(1.75)(32)(109.71)}{\pi(0.0254)^3} = 119.34 [Mpa]$$

La torsión tiene un comportamiento alternante:

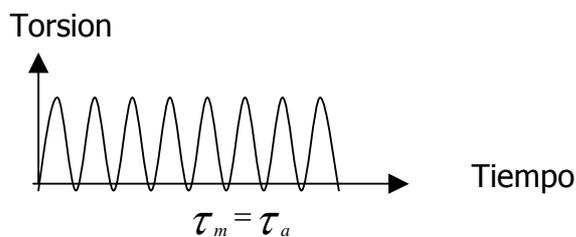


Figura 3.21. Diagrama de torsión en el tiempo de la flecha motriz.

Usando la ecuación (1´):

$$\tau_m = \tau_a = \frac{(2)(8)(412.3844)}{\pi(.0254)^3} = 128.16 [MPa]$$

Ahora con estos valores la cedencia de Von Mises para los componentes medios y alternos debe calcularse como:

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} \quad \dots (14)$$

$$\sigma'_m = \sqrt{(\sigma_m + \sigma_{maxial})^2 + \tau_m^2} \quad \dots (15)$$

Sustituyendo valores:

$$\sigma'_a = \sqrt{(119.34)^2 + 3(128.16)^2} = 252.02 [MPa]$$

Para σ'_m los valores de σ_m y σ_{maxial} se suponen igual a cero.

Quedando:

$$\sigma'_m = \sqrt{3(128.16)^2} = 221.98 [MPa]$$

Como la flecha de la transmisión se fabricara del mismo material por tanto la resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 327.5 [MPa]$$

Ahora calculando el factor de seguridad:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_u} \quad \dots (17)$$

Donde:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{252.02}{327.5} + \frac{221.98}{655} \approx 1$$

∴

$$N_f \approx 1$$

Obviamente este factor de seguridad no es suficiente para los propósitos del diseño por lo tanto el material para la flecha se cambió a un acero AISI 4140 con otro tratamiento por lo que el nuevo material tiene una $S_u=1138 [Mpa]$

Calculando el factor de seguridad de nuevo:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{252.02}{569} + \frac{221.98}{1138} = .638$$

∴

$$N_f = 1.7 [MPa]$$

Finalmente el nuevo factor de seguridad se considera correcto para el diseño.

4. Construcción del sistema propuesto

4.1. Componentes del sistema

4.1.1. Enumeración de componentes

El sistema está compuesto como se muestra en la figura 4.1:

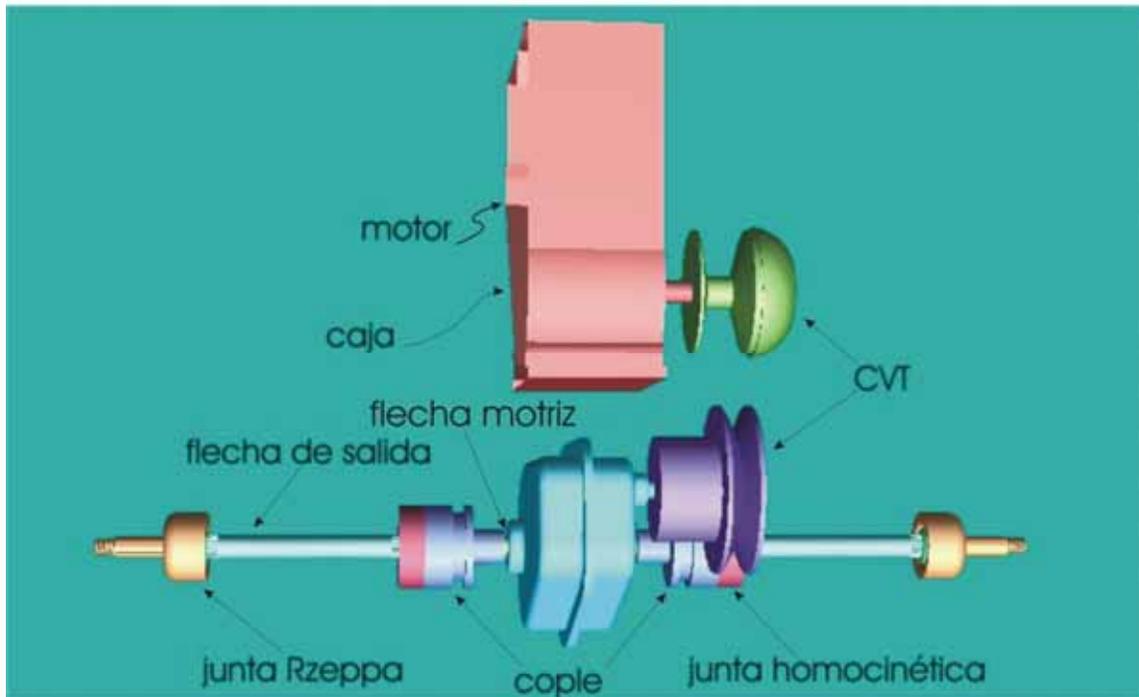


Figura 4.1. Componentes del sistema

- **CVT.** Es el sistema de poleas por medio del cual se obtiene una relación de salida variable, proporcionando par de torsión al arranque y velocidad cuando el vehículo así lo requiere.
- **Reductor.** Es por medio de este sistema de engranes y cadenas que se reduce la velocidad de salida del motor y se incrementa el par de salida en los neumáticos.
- **Flecha motriz.** Esta pieza nos sirve para poder conectar al reductor con la flecha de salida, por medio del cople.
- **Perno.** Por medio de este aditamento se mantienen unidos el cople y la flecha motriz, permitiendo que se transmita la fuerza a la flecha de salida.
- **Cople.** Esta pieza es la que une y acopla a la flecha motriz con la junta universal tipo Groove.
- **Junta Universal tipo Groove.** Este componente es el que transmite la fuerza a la flecha de salida y permite que la flecha de salida pueda tener una variación en el ángulo de salida, así como en

la distancia entre la junta universal tipo Groove y la junta universal tipo Rzeppa.

- **Flecha de salida.** Transmite la fuerza del reductor a los neumáticos y una a las dos juntas universales.
- **Junta universal tipo Rzeppa.** Esta parte transmite la fuerza a la masa y permite que haya un cambio de ángulo de la flecha de salida con respecto al neumático.
- **Masa.** Esta pieza transmite la fuerza de salida directamente al neumático.

4.2. Consideraciones de las partes a manufacturar

Debido a que una gran parte de las piezas del sistema de transmisión son comerciales, como ya se menciona en el capítulo anterior¹, no es necesario hacer la manufactura de todos sus componentes, por lo que se hará solamente la selección y el programa de manufactura para las piezas que necesiten fabricarse o modificarse del original, para poder obtener los aditamentos y refacciones, adecuadas y necesarias para lograr un buen funcionamiento del sistema, además de elementos suficientes para su reparación.

4.2.1. Partes para modificar

Como el tren motriz que se adaptó con una parte de las juntas homocinéticas del vehículo modelo Caribe, pero la Junta Universal Groove es de un vehículo modelo Combi, dando como resultado que esta sea un poco más grande del lado del convertidor², es necesario hacer un cilindrado en la flecha de salida del lado del convertidor para que la Junta Universal Groove se acople al sistema, como se indica en la figura.

4.2.2. Partes para manufacturar

Se requiere para que el sistema tenga un buen funcionamiento, acoplar todos los aditamentos adquiridos por medio de piezas que no son comerciales, los cuales se tienen que manufacturar y son los siguientes elementos; la flecha motriz, el cople y el perno, estos elementos deben de ir según los parámetros obtenidos en el capítulo anterior³ para cada elemento de diseño, de acuerdo a los cuales se seleccionará el material, buscando que cumpla con lo esperado y que su precio sea lo más bajo posible, pero sin sacrificar por esto las propiedades requeridas.

¹ Ver sección 3.2.1

² Esto es por que el conjunto que se adquirió fue reconstruido debido a su bajo precio y que el presupuesto del equipo no era suficiente.

³ Ver Capítulo 3 sección

4.2.2.1. Cople

El cople que se muestra en la figura 4.2 es la parte del sistema que conecta la flecha motriz con la Junta Universal Groove y la flecha de salida, el material que cumple con los requerimientos de diseño es el acero 4140, recocido, este es un acero que de acuerdo a las especificaciones de la AISI y la SAE es un acero Cromo-molibdeno y contiene 1% Cr, 0.8% Mn, 0.2% Mo, 0.04% P, 0.04% S, 0.3% Si y 0.4% C, su resistencia a la tensión es de 918 Mpa y una elongación del 16%.

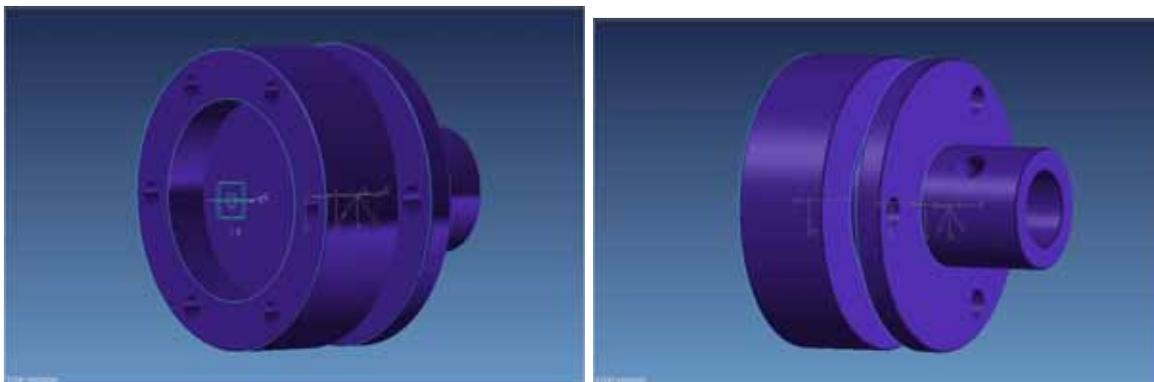


Figura 4.2. imagen del cople a manufacturar

4.2.2.2. Flecha motriz

Esta es la salida de la caja reductora de giro a la cual se le conecta el cople para poder transmitir la fuerza del motor a los neumáticos, el material que cumple con los requerimientos de diseño es el acero 4140 recocido, ver figura 4.3



Figura 4.3. Flecha motriz

4.2.2.3. Perno

Es el mecanismo mediante el cual se sujeta el cople a la flecha motriz ver figura 4.4, la función de este perno es mantener unido el sistema y soportar los esfuerzos cortantes que existen entre la flecha y el cople, sin que este se fracture,

buscando mejor una deformación para que en caso necesario se deforme y el sistema se mantenga funcionando, esto nos da que el acero del perno no debe de ser tan duro como el cople y la flecha, por lo que se utilizo un acero 1010, el cual cumple con los requerimientos del diseño.

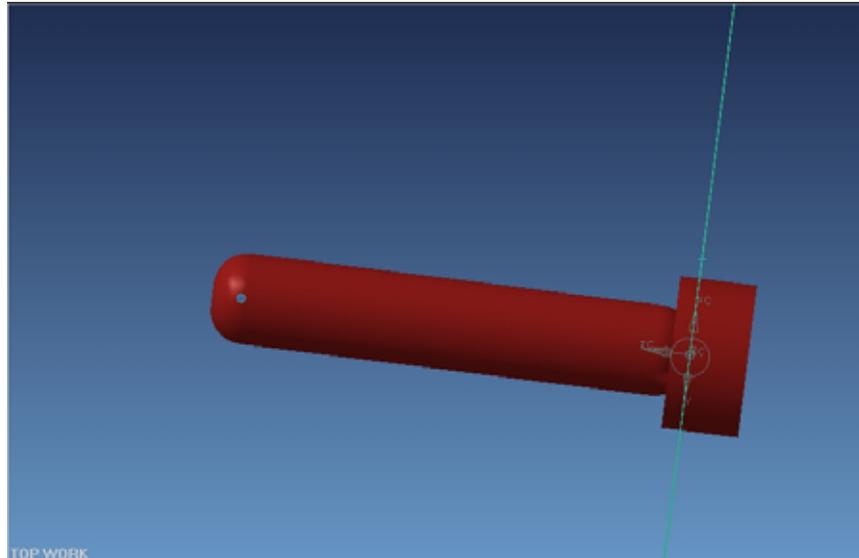


Figura 4.4. Perno de sujeción del cople

4.3. Plan de manufactura de las partes

4.3.1. Descripción de los equipos de manufactura

La Facultad de Ingeniería de la UNAM cuenta con varios tornos, taladros y fresadoras verticales y horizontales de tipo convencional que sirven regularmente para las practica que los alumnos hacen en las materias relacionadas con manufactura, además de equipo para manufactura avanzada, el los que se hacen piezas complejas como practica en varios laboratorios de esta materia. Para poder realizar las piezas que competen a este trabajo se requiere tan solo es uso de un torno convencional de precisión, una fresadora vertical y un taladro con mesa giratoria.

A continuación se da una breve descripción de las máquinas herramientas que se utilizaron en el proceso de manufactura y acabado de las piezas descritas en la sección anterior figuras 4.5 y 4.6, así como el proceso que se llevo a cabo para poder completar cada una de las piezas.

Cabe mencionar que los tiempos de producción se tomaron en cuenta para una línea de producción en donde los obreros son de mano de obra calificada esto con la inteligencia de poder sacar un costo de producción al mayoreo por lo que es posible que haya algunos errores en el cálculo de dichos tiempos.

Torno ROMI S-20A	
Motor Principal	3.677 kW
Distancia entre puntos	1.5 m
Volteo	185 mm

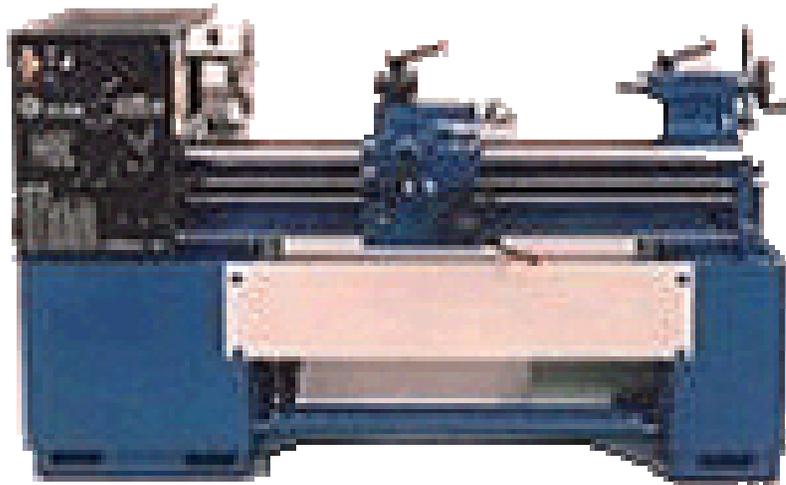


Figura 4.5. Torno ROMI S-20^a

Torno ROMI S-520	
Motor Principal	5.516 kW
Distancia entre puntos	2.25 m
Volteo	350 mm

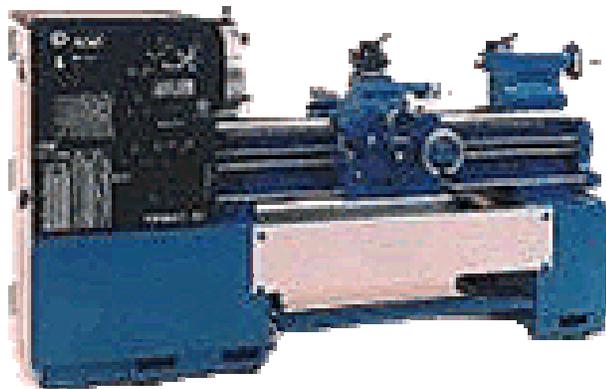


Figura 4.6. Torno ROMI S-520

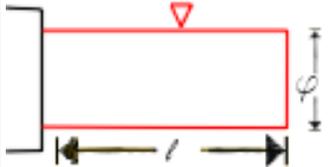
Taladro AB Arboga Maskiner ARBOGA-SWEDEN		
Tipo U2508	3-fases	50/60 Hz
No. 247971	0.75/0.6 kW	3.1/3.1 Amp
220 Volt	R/min	2780/1310

4.3.2 Modificación de la flecha motriz

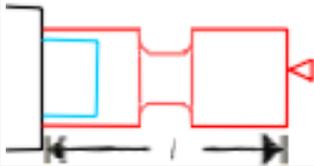
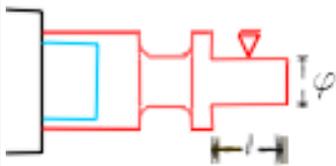
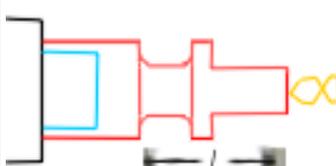
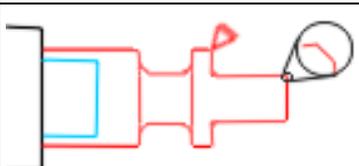
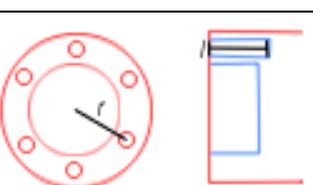
No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
1	Cilindrado	105	162	1	0.255	0.6	0.3	4 a 3 d	Buril con punta de tungsteno	1.837 a 1.198 d	

Tabla 4.1. Parámetros de corte para la modificación de la flecha motriz

4.3.3 Manufactura del cople

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
1	Torneado para eliminar rebabas $\phi=101\text{mm}$ $l=53.5\text{mm}$		162		0.255		0.38	2	Buril punta de tungsteno	2.32	

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
2	Refrentado a 90.5 de largo total de la pieza		162		0.255		0.38	5	Buril punta de tungsteno	5.569	
3	Cilindrado para máximo diámetro $\phi=100\text{mm}$ $l=40\text{mm}$		162		0.255		0.38	3	Buril punta de tungsteno	2.844	
4	Taladrado hasta $\phi=25.4\text{mm}$ $l=20\text{mm}$ de profundidad	21.35		0.254		20		6	Brocas HSS de centros, $\frac{1}{4}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1in	5.295	
5	Cilindrado interior a $\phi=67\text{mm}$ $l=20\text{mm}$	105	162	1	0.255	4.75	0.38	8d 3a	Buril punta de tungsteno	3.309d 1.612a	
6	Desbaste a $a=31.5\text{mm}$ de la cara hasta $\phi=60\text{mm}$ $l=13\text{mm}$	30	75	1	0.255	4.75	0.38	4d 3a	Buril HSS con la forma de la ranura	2.633d 2.020a	

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
7	Voltear pieza y refrentado a $l=89.7\text{mm}$ de largo total		162		0.255		0.38	3	Buril punta de tungsteno	4.353	
8	Cilindrado hasta $\phi=50.8\text{mm}$ $l=36.2\text{mm}$	105	162	1	0.255	4.75	0.38	5d 3a	Buril punta de tungsteno	2.872d 1.946a	
9	Taladrado hasta $\phi=19.05\text{mm}$ $l=47\text{mm}$ de profundidad	21.35			0.254		47	5	Brocas HSS de centros, $\frac{1}{4}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}\text{in}$	5.473	
10	Chafan de 2mm en todos los bordes		162		0.255		0.38	4	Buril punta de tungsteno	1.443	
11	Taladrado de 6 (seis) orificios de $\phi=12\text{mm}$ $l=20\text{mm}$ $r=40\text{mm}$	21.35			0.254		20	3	Brocas HSS de centros, $\frac{1}{4}$, $\frac{5}{16}\text{in}$	7.103	

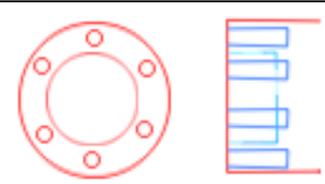
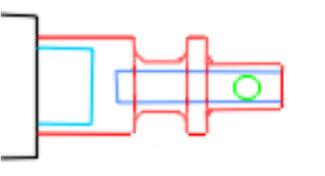
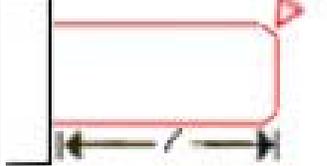
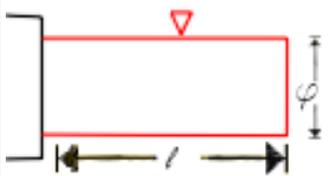
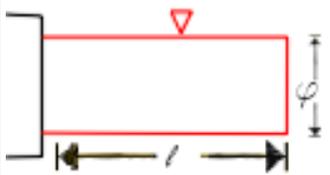
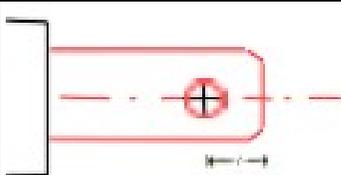
No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
12	Machueado de los 6 (seis) orificios con rosca	4.575		0.251		18		1	Machuelo HSS de 3/8NS	10.958	
13	Taladrado de orificio para perno 3/8 a 20mm de la parte más delgada	21.35		0.254		50.8		3	Brocas HSS de centros, 1/4, 3/8in	2.56	
14	Taladrado de tres orificios pasados de $\phi=7.9\text{mm}$	21.35		0.254		9		3	Brocas HSS de centros, 5/16in	3.66	

Tabla 4.2. Parámetros de corte para manufacturar el cople.

4.3.4 Manufactura de la flecha de salida

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
1	Torneado para eliminar rebabas $\phi=26\text{mm}$ $l=76\text{mm}$		162		0.255		0.38	2	Buril punta de tungsteno	1.681	
2	Cilindrado para máximo diámetro $\phi=25.4\text{mm}$ $l=75.5\text{mm}$		162		0.255		0.38	1	Buril punta de tungsteno	0.338	
3	Refrentado a 151 de largo total de la pieza		162		0.255		0.38	3	Buril punta de tungsteno	0.675	
4	Chaflan de 2mm en el borde		162		0.255		0.38	1	Buril punta de tungsteno	0.338	

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
5	Voltear pieza y refrentado a $l=150\text{mm}$ de largo total		162		0.255		0.38	5	Buril punta de tungsteno	1.175	
6	Torneado para eliminar rebabas $\phi=26\text{mm}$ $l=75.5\text{mm}$		162		0.255		0.38	2	Buril punta de tungsteno	1.181	
7	Cilindrado para máximo diámetro $\phi=25.4\text{mm}$ $l=75.5\text{mm}$		162		0.255		0.38	2	Buril punta de tungsteno	5.569	
8	Chaflan de 2mm en todos los bordes		162		0.255		0.38	1	Buril punta de tungsteno	0.338	
9	Taladrado de dos orificios pasados de $\phi=9\text{mm}$ $L=19\text{mm}$	21.35		0.254		19		3	Brocas HSS de centros, $\frac{1}{4}\text{in}$, 9mm	4.66	

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/golp]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
10	Fresado profundidad a=3.17mm f=33.22mm D=58.39mm		27.3		0.13		1.76	2	Cortador recto HSS de ¼in	1.602	

Tabla 4.3. Parámetros de corte para manufacturar la flecha de salida.

4.3.5 Manufactura del perno

No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
1	Torneado para eliminar rebabas $\phi = 10\text{mm}$ f=63.5mm		213.3		1.3		0.665	1	Buril punta de tungsteno	1.008	
2	Refrentado a 63mm de largo total de la pieza		213.3		1.3		0.665	1	Buril punta de tungsteno	0.05	

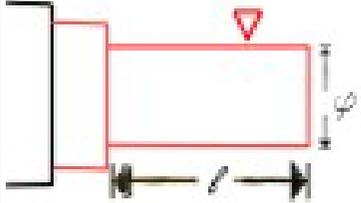
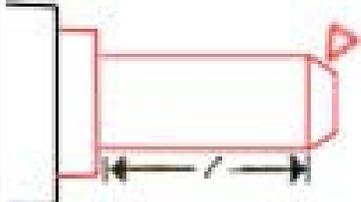
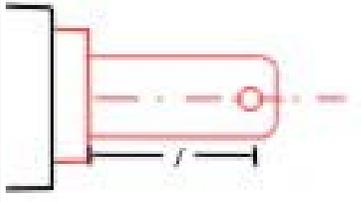
No. op.	Descripción de la operación	PARÁMETROS DE CORTE						Número de pasadas	Herramienta	Tiempo de maquinado [min]	Croquis
		Velocidad [m/min]		Avance [mm/rev]		Profundidad [mm]					
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado				
3	Cilindrado para máximo diámetro $\phi=8.73\text{mm}$ $l=56\text{mm}$		213.3		1.3		0.665	1	Buril punta de tungsteno	0.05	
4	Chaflan de 3mm en		213.3		1.3		0.665	1	Buril punta de tungsteno	0.05	
5	Taladrado de un orificio pasado de $\phi=1.58\text{mm}$ $L=53\text{mm}$	42.7		0.508		38		1	Broca HSS de 1/16	0.05	

Tabla 4.4. Parámetros de corte para la manufactura del perno.

4.4. Ensamble del sistema

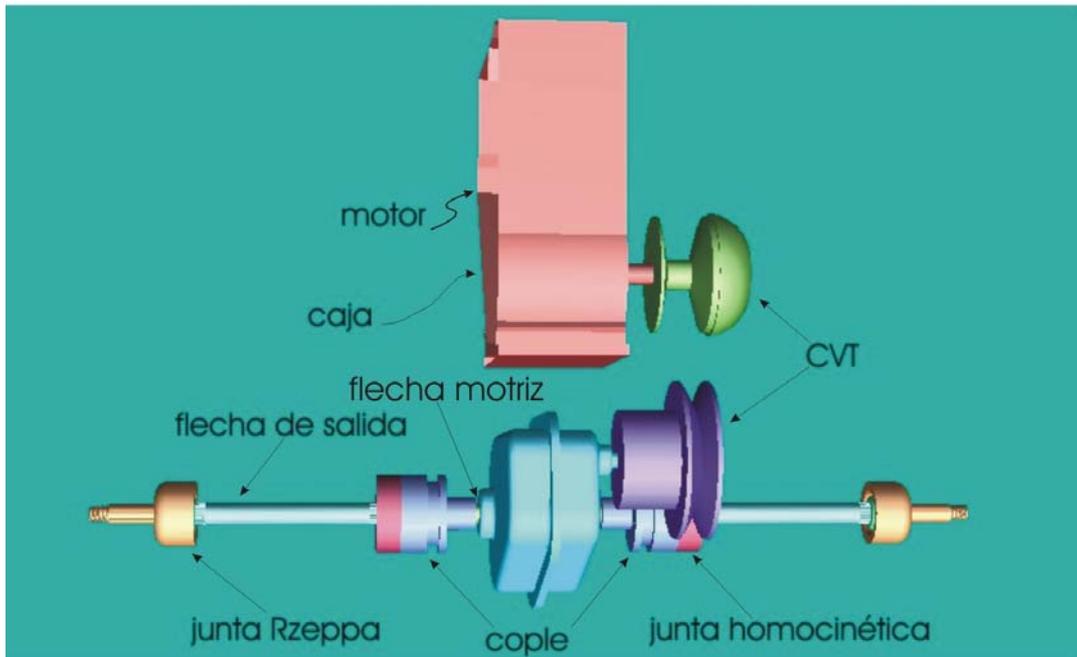


Figura 4.7. Diagrama del ensamblaje



Figura 4.8. Apariencia del sistema ya montado en el vehículo

En la figura 4.7 se puede ver de forma virtual como quedara el ensamblaje del sistema después de la fabricación y compra de los componentes. En la figura 4.8. se puede ver como quedo el sistema ya acoplado al vehículo, y ver como el espacio real que ocupa es mínimo, considerando el número de sus componentes, además tener fácil acceso para realizar cualquier reparación que el sistema requiera, así como cambiar alguna parte del mismo

4.5. Costos de fabricación

Los costos de fabricación se determinaran a partir de la mano de obra de manufactura¹ que se necesitan para cada parte, la materia prima así como el tiempo ensamblaje del sistema. Se tomará como base el costo de mano de obra que se tiene en el distrito federal para técnicos especializados, ya que los tiempos de fabricación se tomaron teniendo en cuenta que la persona que lo labora es un técnico especializado en manufactura, para las partes compradas se consideraran los precios comerciales, y en caso de tener alguna modificación como es el caso de la flecha de salida, se le añadirá el costo de la labor de mano de obra que se necesitó para su modificación tabla 4.5.

Pieza	Marca	Origen	Costo de producción	No de piezas	Costo total	Tiempo de vida
CVT	COMET	IMPORTADO	1657.5	1	1675.5	3 AÑOS
R-ZEPPA	VW	NACIONAL	180	2	360	3 AÑOS
JUNTA HOMOCINÉTICA	VW	NACIONAL	150	2	300	3 AÑOS
FLECHA MOTRIZ	VW	NACIONAL	250	2	500	5 AÑOS
REDUCTOR MIXTO	COMMET	IMPORTADO	6375	1	6375	6 AÑOS
COPLÉ	FI UNAM	NACIONAL	150	2	300	3 AÑOS
SOPORTE	FI UNAM	NACIONAL	200	1	200	3 AÑOS
MOTOR	BRIGGS & STRATTON	IMPORTADO	3825	1	3825	6 AÑOS
TORNILLOS	GRADO 5	NACIONAL	5	12	60	3 AÑOS
TORNILLOS	GRADO 8	NACIONAL	8	4	32	3 AÑOS

Tabla 4.5. Este es la tabla de los elementos que lleva el conjunto, así como su costo de producción y la vida útil de cada elemento.

¹ Utilizando los tiempos de las tablas obtenidas en el punto anterior

5. Comprobación el funcionamiento real del sistema de transmisión

5.1. Pruebas y ventajas del sistema

5.1.1. Pruebas de campo

El vehículo se llevo a probar a zonas boscosas y con pendientes parecidas a las de la competencia buscando que el terreno tenga las mis características que el lugar donde se va a competir, y así poder probar realmente si será funcional en la competencia, ya que las condiciones de la competencia por lo general son muy rudas y cuando no se logra probar lo suficiente el vehículo generalmente falla en la competencia, por lo que esta vez se pretende no tener fallas al llevarlo a probar y mejorando las fallas que se van encontrando, en la primera prueba que se le hizo se noto que había que reducir el arco de recorrido de la suspensión ya que había quedado demasiado grande y como solo es un movimiento circular, hacia que hubiera interferencia de movimiento en ciertas posiciones, sobre todo cuando se incrementaba demasiado el ángulo del brazo de la suspensión trasera, con respecto a la horizontal que se forma a la altura del chasis.



Figura 5.1. Pruebas del vehículo



Figura 5.2. Lugares parecidos a los que se hicieron las pruebas del vehículo

5.1.2. Correcciones del sistema

Se corrigió el brazo trasero de la suspensión, permitiendo solo el ángulo en el cual la transmisión mostraba una mejor eficiencia para el sistema, gracias a que este sistema ya se había probado en otro modelo anterior, no fue necesario hacer muchas modificaciones después de que se instaló el sistema en el vehículo ya que las pruebas hechas en el vehículo anterior nos permitieron hacer los cálculos necesarios para que la suspensión le permitiera trabajar debidamente al sistema de transmisión, dándole los grados de libertad necesarios para un óptimo desempeño. Debido a que generalmente ese sistema trabaja con un grado de libertad más del que el sistema instalado anteriormente permitía.

5.1.3. Ventajas del sistema

Una de las ventajas que nos da este sistema es el acceso que se tiene para realizar las reparaciones, que el vehículo necesitara, ya que es mucho más sencillo y menos laborioso, debido a que no se requiere quitar toda la suspensión para poder reemplazar alguna pieza del sistema, esto debido a que los componentes tienen un fácil acceso como se muestra en la Figura 3.

Otra ventaja que dio este sistema es que el sistema de frenos se coloca en el cople que une la flecha con la salida del reductor de giro, permitiendo tener una mejor eficiencia en el frenado y mayor facilidad en el armado ya que no se necesita otro aditamento para poder colocar el disco de los frenos, permitiendo poner un disco a cada lado del reductor de giro y así lograr también mejorar el sistema de frenos.



Figura 5.3. Detalle del sistema en el que se muestra la accesibilidad y el disco del freno instalado en el cople.

5.2. Resultados

5.2.1. Primer día

5.2.1.1. Presentación del vehículo

En esta prueba el vehículo se tiene que presentar ya completo frente a todas las universidades que participan en la competencia, ese mismo día se hacen las pruebas de seguridad, las cuales constan de: prueba de frenado, en la que se tiene que acelerar el vehículo a la velocidad máxima y frenarlo en una distancia mínima de 100m, también se revisa que tenga los interruptores de paro de

emergencia del motor (Kill switch), así como que el casco, los cinturones y demás aditamentos de seguridad cumplan con las normas establecidas en el reglamento de la competencia, una parte de esta prueba es que el piloto pueda salir del vehículo en menos de 10 [s].

Esto fue el jueves primer día de competencia fue la presentación del vehículo en donde fuimos la segunda universidad en pasar la prueba de seguridad en el primer intento, cabe mencionar que los van calificando en orden dependiendo del número del vehículo, y el scorio es el 90. Enseguida nos fuimos a la prueba de frenado en donde nos comentó el juez que hasta el momento fue el vehículo más rápido.



Figura 5.4. Presentación del Scorio

5.2.1.2. Motor a punto y prueba de frenado

Ese mismo día se hacen las pruebas de seguridad, y por último la puesta a punto del motor, en donde se revisa que el gobernador del motor, el cual regula las revoluciones máximas del motor, este funcionando correctamente con lo que se asegura que todos los participantes tengan las mismas ventajas en cuanto a propulsión se refiere ya que es lo único, se podría decir que todos los vehículos

tiene igual y además se revisa que el motor no esté alterado en ninguno de sus componentes. Una de las partes importantes de las pruebas de la competencia es la venta del prototipo a una firma ficticia para la producción en serie y venta del vehículo al consumidor, para lo cual se tiene que hacer un reporte de la ingeniería del diseño en el cual se justifica cada elemento del vehículo, y se tiene que dar a conocer tanto los costos de producción como un análisis del mercado al cual se pretende poner a la venta.

El siguiente requisito en la competencia es poner el motor a punto, que como ya se explico en el párrafo anterior es muy importante, fue donde nos tardamos mucho tiempo, al terminar nos fuimos a preparar para la presentación de costos y la venta del vehículo a una empresa ficticia, en donde también se defienden los puntos de diseño de cada sistema, en costos y presentación de ventas obtuvimos un cuarto lugar en cada una. Minutos después llegaron los mismos jueces del último evento en donde cada encargado de sistema justifico su diseño de acuerdo a los análisis realizados antes y después de haber diseñado y ensamblado su sistema.



Figura 5.5. Integrantes del equipo Mini Baja® con el cónsul mexicano en Salt Lake City

Ese día al terminar las pruebas, esperamos la llegada del Consul mexicano en Utah, quien llegó con varios acompañantes, entre ellos el Director de servicios multiculturales estudiantiles Everardo Martínez-Inzunza, al poco tiempo pasó el Profesor Regente y Jefe de la División de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial J. Clair Batty, Sc.D., P.E., quienes coincidieron en que les gustaría que estudiantes de la UNAM hicieran intercambio estudiantil o que egresados fueran a estudiar maestrías en Ciencias aeroespaciales, en busca de una mayor diversidad. Cabe comentar que "... la Utah State University (USU) es entidad que manda más artefactos al espacio cada año..." según comentó el Jefe de la División. Durante este tiempo las otras Universidades mexicanas aprovecharon para convivir con el consul mexicano, quedando abierta la invitación para que fueran a la inauguración de la temporada de la liga profesional del estado, actividad que ya estaba anunciada en una revista hispana, en la cual se anunció que el consul de México y el vehículo Scorpio de la Universidad Nacional Autónoma de México participarían en el evento.

5.2.2. Segundo día

El viernes segundo día de la competencia se hicieron las pruebas dinámicas, en donde se prueba la velocidad, tracción, potencia de salida, y que tan fácil es maniobrar con el vehículo en curvas cerradas a la mayor velocidad posible, ya que es una prueba contra reloj, como lo son la mayoría de las pruebas.

5.2.2.1. Aceleración

La primera prueba que nos tocó es aceleración, en donde se corre contra reloj 45.72 m, prueba en la cuál fuimos los primeros en hacerlo en menos de 7 segundos, quedando en el lugar número 20 tan solo por centésimas de segundo.

Una característica importante de esta prueba es que se realiza en una parte de terreno que se vea lo mas horizontal posible, esto nos ayuda a determinar la capacidad de aceleración que tiene el vehículo con 0° de pendiente. Cabe mencionar que en esta prueba una de las innovaciones que se presentaron tanto en esta prueba como en la de maniobrabilidad fue el tipo de cronómetros que se usaron en la competencia, ya que fueron con sensores de movimiento los que se usaron para determinar, tanto en la línea de salida como en la meta el momento de partida como el de llegada y así eliminar con esto el error humano con el que se contaba en las competencias anteriores, y era punto de partida para discusiones y reclamaciones que a veces hacían cambiar el criterio de algunos jueces en la competencia generando descontento entre los demás participantes.

5.2.2.2. *Maniobrabilidad*

Otra prueba de las tres que se realizan este día es maniobrabilidad, en donde esta vez no fue tan solo dar vueltas alrededor de conos, sino también subir pequeñas pendientes, en esta prueba estuvimos a tan solo 5 segundos del primer lugar.

En esta prueba además de probar la facilidad del vehículo para dar vueltas a la mayor velocidad posible, también se mide la pericia y agilidad del piloto para manejar en terrenos difíciles, así como la reacción que tiene ante curvas cerradas en la pista y obstáculos que por la naturaleza del terreno puede haber en el recorrido.



Figura 5.6. Pits el día de las pruebas dinámicas

5.2.2.3. *Pendiente*

Por último la prueba de subir la pendiente de 45°, en donde por falta de buenos neumáticos, fue la prueba en que peor nos fue, ya que no esperábamos

que hubiera tanto lodo y los neumáticos se resbalaron desde el arranque. Un detalle importante es que las pruebas de aceleración y maniobrabilidad se cronometraron con equipo electrónico al estilo arrincones de dragsters, por lo que la medición del tiempo fue con muy buena precisión

5.2.3. Tercer día



Figura 5.7. Día de la carrera de 4 horas.

El sábado tercer día se realizó la carrera de resistencia, la cual consistió en dar vueltas en un circuito durante 4 horas, en donde el peor enemigo a vencer fue el lodo que estaba por toda la pista, ya que en toda la competencia no dejó de llover, esta vez se vio reflejado el buen trabajo del equipo en el diseño y construcción del vehículo, ya que tan solo salió de la pista para cargar combustible, por que el piloto tenía la visera sucia y por que un vehículo que nadie vio le dobló un poco el brazo de la suspensión trasera, pero debido a la flexibilidad del sistema, y la buena manufactura del brazo de la suspensión no tuvo ningún problema en continuar. En este evento quedamos en la séptima posición.



Figura 5.8. Cambio de piloto

5.2.4. Día después de la competencia

El domingo fuimos a la inauguración de la temporada al estadio de baseball de Salt Lake City a donde llegamos temprano casi al mismo tiempo que al consul mexicano, poco tiempo después llegaron el Instituto Tecnológico de Chihuahua y el Instituto Tecnológico de Querétaro. En el estadio, antes de la inauguración nos entrevistó una cadena televisora de habla hispana y uno de los camarógrafos se subió al Scorpio y dio varias vueltas en un césped mientras lo grababan. Antes del lanzamiento de inauguración el consul mexicano se subió en la parte trasera del Scorpio, y dos miembros del equipo lo escoltaron siguiendo al vehículo, siguiendo la misma formación lo siguieron el ITCH y el ITQ. Después de la presentación estos últimos se retiraron, y nos quedamos a disfrutar del partido, mientras que varios aficionados mientras compraban en las concesiones del estadio admiraban y preguntaban por el vehículo de la UNAM.



Figura 5.9. Campo de baseball



Figura 5.10. Fan del equipo



Figura 5.11. Convivencia con el equipo de Querétaro

5.3. COMENTARIO:

El lugar que se obtuvo en general fue el 15° de 101 participantes de mas de 70 universidades de Canada, EEUU, Libano y México. Quedando en primer lugar dentro de las universidades mexicanas, de las cuales participaron 12.

Cabe mencionar que los primeros lugares en diseño y en varias otras pruebas se debe principalmente a los sistemas que compraron, siendo estos inalcanzables por los costos que estos representan, ya que este vehículo se construyo principalmente con presupuesto de los alumnos, FI, Telmex, lo que no fue suficiente para poder comprar componentes nuevos para el vehículo, teniendo que deshabilitarse otros modelos anteriores para poder construir al Scorpio. Si con estos recursos obtuvimos ese lugar con la ayuda de patrocinadores es posible que lo mejoremos. Nosotros ofrecemos un espacio en nuestra carrocería y en nuestros uniformes, para los patrocinadores, además de que su aportación es totalmente deducible de impuestos. Ya que con la ayuda de Fundación UNAM hemos podido tener una gran publicidad, apareciendo en Televisa, TV Azteca, y Radio Red.

Características del sistema

- Máxima velocidad 60 km/h
- Eficiencia total de sistema 90 %
- Par máximo 18.7 Nm@2300rpm
- Mínima relación total 1:6.43
- Máxima relación total 1:34.57
- Peso total sistema 70 kg

6. Conclusiones

En este trabajo se logró concretar el objetivo del trabajo, al rediseñar el sistema de transmisión del vehículo monoplaza todo terreno y lograr un mejor lugar en la competencia de Mini Baja®.

El rediseño de la transmisión de un vehículo monoplaza todo terreno se llevó a cabo teniendo en cuenta principalmente las normas establecidas por el reglamento de la competencia de Mini Baja®, ya que debido a los requerimientos necesarios de fuerza de salida en los neumáticos y la velocidad fue necesario adquirir un reductor que además tuviera la facilidad de tener marcha hacia atrás. Con el cual se adquirió la ventaja de poder salir de cualquier situación en la que el vehículo ya no pudiera avanzar y salir hacia delante, sin tener que requerir a la ayuda de otra persona para que lo empuje hacia el camino correcto. Otro punto que se tomo en cuenta fue la forma de colocar las piezas del sistema, el cual anteriormente estaba muy enredo y no permitía tener un fácil acceso para la reparación y/o mantenimiento del sistema, lo cual hacía que al momento de reparar el vehículo durante la competencia se requiriera una gran cantidad de tiempo para poder desarmar el sistema, con lo cual se perdían varias posiciones durante la competencia. Otro factor que se tomo mucho en cuenta es que sea mas flexible, lo cual permite que la suspensión tenga un mejor funcionamiento con lo que los neumáticos permanente más tiempo en contacto con las superficie el terreno lo cual hace que el vehículo tenga mas oportunidad de para desarrollar más velocidad y fuerza de tracción.

Debido a que los elementos de acoplamiento que se usaron en el sistema requerían una alta resistencia a la torsión, se hicieron con un acero que cumple con las características necesarias, pero también debido a esto los coples quedaron un poco pesados, haciendo que se incrementara el peso del vehículo con lo cual no se logro tener la mayor velocidad deseable durante la competencia, pero si permitió que se desarrollara un buen par de salida hacia los neumáticos.

Las características importantes del sistema de transmisión del vehículo mencionado anteriormente son:

- Las partes comerciales que se utilizan hacen que el sistema de transmisión del vehículo sea fácil de reparar
- El acceso a los componentes del sistema de transmisión, como son las flechas, el cople, las juntas homocinéticas, así como para la reparación del sistema de frenos, es muy sencillo sin necesidad de desarmar la suspensión, (como se tenía que hacer con el sistema anterior).
- Debido al uso de un reductor de giro de engranes en este diseño se reduce el espacio en la parte trasera del vehículo, lo cual favorece en la manipulación de las piezas mecánicas al momento de reparación o mantenimiento.

- Esto proporciona la ventaja de una disminución de peso total del vehículo, lo cual se refleja en un mejor aprovechamiento de la potencia de salida del motor.
- Debido al uso de un CVT la potencia del motor es aprovechada al máximo por el sistema de transmisión, ya que permite obtener, dependiendo de las necesidades del terreno una mayor potencia o mayor velocidad.
- Otra ventaja del uso de este CVT es que no es necesario detener el motor cuando el vehículo esta parado.
- Es posible tener una relación fija al mismo tiempo a máxima velocidad que nos ayuda a mejorar la aceleración.
- Una muy aceptable capacidad de movimiento, con la cual se puede tener mejor contacto con el terreno y así proporcionar una mejor tracción en todo momento, debido a las juntas homocinéticas.
- Es importante señalar que la participación de los alumnos estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica en este tipo de eventos les ayuda a complementar su formación profesional debido a que tiene la oportunidad de probar en una situación real (esto es por que el vehículo monoplace participa en una competencia real, la cual si llega a fallar una parte, ya sea del diseño o de la manufactura o ensamblaje, podría consecuencias fatales, esto dado las circunstancias tan difíciles en las que se desarrolla dicha competencia), todos los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería durante el estudio de su carrera al poder desarrollar un vehículo desde su concepto en papel, conseguir patrocinios, buscar formas de mejorar los sistemas con un bajo presupuesto, trabajo en equipo, métodos de manufactura, análisis del diseño y hasta ponerlo a prueba con otros vehículos de Universidades de la talla como son el MIT, Oxford, Harvard, y muchas otras universidades de Norte América y algunas del continente asiático, proporcionándole así seguridad en sus conocimientos y la aplicación de estos al campo productivo laboral, permitiendo que se desenvuelva de una manera mas rápida en la industria al momento de comenzar su vida laboral.

Formulas utilizadas para el calculo del tiempo de Maquinado

$$\theta = 118^\circ$$

$$T = \frac{t + A}{f_r}$$

$$A = \frac{D/2}{\tan \theta/2}$$

$$f_r = f \cdot N$$

$$N = \frac{v_c}{\pi \cdot D}$$

$$\therefore T = \frac{t + \frac{D/2}{\tan \theta/2}}{f \left(\frac{v_c}{\pi \cdot D} \right)}$$

$$T_c = T_h + T_m + T_{\eta_p}$$

$T_h \Rightarrow$ Manejo de parte

$T_m \Rightarrow$ Tiempo de maquinado

$T_t \Rightarrow$ Tiempo de cambio de la herramienta

$\eta_p \Rightarrow$ Número de piezas cortadas

$$T_m = \frac{\pi DL}{vf}$$

$$\eta_p = \frac{T}{T_m} = \frac{fC^{(1/n)}}{\pi DL v^{(1/n-1)}}$$

$$T_c = T_h + \frac{\pi DL}{fv} + \frac{T_t (\pi DL v^{(1/n-1)})}{fC^{(1/n)}}$$

$$\frac{dT_c}{dv} = 0 \Rightarrow v_{\max} = \frac{C}{\left[\left(\frac{1}{n} - 1 \right) T_t \right]^n}$$

$$T_{\max} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) T_t$$

Formulas utilizadas para el cálculo de los Costos

$$C_t = \frac{P_t}{n_g} + T_g C_g$$

$$C_c = C_0 T_h + C_0 T_m + \frac{C_0 T_t}{\eta_p} + \frac{C_t}{\eta_p}$$

$$C_c = C_0 T_h + \frac{C_0 \pi D L}{f v} + \frac{(C_0 T_t + C_t) [\pi D L v^{(1/n)}]}{f C^{(1/n)}}$$

$$v_{\min} = C \left(\frac{n}{1-n} \cdot \frac{C_0}{C_0 T_t + C_t} \right)^n$$

$$T_{\min} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(\frac{C_0 T_t + C_t}{C_0} \right)$$

$$T = \sqrt[n]{\frac{C}{v}}$$

Para herramientas de carburo

$$C = 500 \left[\frac{m}{\min} \right], n = 0.25$$

Para herramientas de HSS

$$C = 70 \left[\frac{m}{\min} \right], n = 0.125$$

$$T_t = 2 [\min] = 120 [s]$$

Constantes para el calculo de los costos

$$C_0 = \$2.10 / \min$$

$$n_g = 15$$

$$P_t = \$80.00$$

$$v_{\max} = 163 \frac{m}{\min}$$

$$v_{\min} = 154 \frac{m}{\min}$$

$$C_t = 15.83$$

Bibliografía:

1. Society of Automotive Engineers.
"Mini-Baja MidWest 2001 Rules Package"
Kansas State University, USA 2001-08-02
2. Gonzales Calderon, Alejandro, Lozano Rodríguez, Gerardo, Diseño de un vehículo monoplace de la categoría mini-baja para todo tipo de terreno. Tesis para obtener el título de ingeniero mecánico electricista (área mecánica). Profesor guía Ing. Adrián Espinosa Bautista. México D.F. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, 1997
3. Cezary Szcapaniak
"Fundamentos de Diseño del Automóvil"
Editorial C.E.C.S.A.
México, D.F.
4. Julian Parriaga
"Automoción 1"
Ediciones del Castillo S.A.
España, Madrid 1979
5. Miguel Castro
"Vehículos todo terreno"
Ediciones CEAC,S.S.A.
Barcelona España 1988
6. Miguel Castro
"Transmisiones y Bastidor"
Ediciones CEAC,S.S.A.
Barcelona España 1988
7. Robert L. Norton
"Diseño de Máquinas"
Pearson Educación
Edo. De México México 1999
8. Amstead, Ostwald, Begeman
"Procesos de Manufatura"
CECSA
México 1998