



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

Trabajo Terminal

***“Transmisión Variable Electrónica
para vehículos tipo Mini Baja”***

Que para obtener el título de
“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Raúl Gómez Ayala

Asesores:

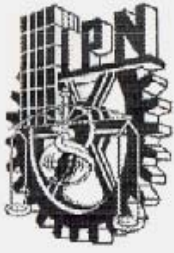
M. en C. Miguel Ángel Rodríguez Fuentes

Ing. Juan Roberto Rodríguez Bello

(069)

upiita

México, D. F., Junio de 2005



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS**

UPIITA



Trabajo Terminal

“Transmisión Variable Electrónica

para vehículos tipo Mini Baja”

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA
EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS
BIBLIOTECA

Que para obtener el título de:

“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Raúl Gómez Ayala

Asesores:

M. en C. Miguel Ángel Rodríguez Fuentes

Ing. Juan Roberto Rodríguez Bello



México D.F. Junio de 2005



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS

UPIITA

Trabajo Terminal

*“Transmisión Variable Electrónica
para vehículos tipo Mini Baja”*

Que para obtener el título de:

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS
“Ingeniero en Mecatrónica”

BIBLIOTECA

Presenta:

BIBLIOTECA
U. P. I. I. T. A.
No. ADQUISICION
069 881

Raúl Gómez Ayala

Asesores



 M. en C. Miguel Ángel
 Rodríguez Fuentes


 Ing. Juan Roberto Rodríguez
 Bello

Profesor de Trabajo Terminal

Presidente de Jurado


 Ing. Rafael Trovamala Landa


 Dr. Orlando Palma Marrufo



México D.F. Junio de 2005

Contenido

Contenido	iii
Lista de figuras	v
Lista de tablas	vi
Resumen	vii
Abstract	vii
Objetivo General	viii
Objetivo Particular	viii
Palabras clave	viii
Introducción	1
Capítulo 1 El cambio de velocidades	4
1.1 Necesidad técnica del cambio de velocidades	4
1.2 Pérdidas de potencia	5
1.2.1 Resistencia a la rodadura	6
1.2.2 Fuerza de arrastre aerodinámico	7
1.3 Potencia requerida	7
1.4 Número mínimo de relaciones de transmisión	9
1.5 Etapa de reducción	9
1.6 Cálculo de relaciones de transmisión	10
Capítulo 2 Banda de transmisión	12
2.1 Generalidades de los sistemas de banda	12
2.2 Datos de diseño de bandas en V	13
2.3 Selección de la banda	16
2.4 Diseño de la transmisión por banda	17
2.5 Fuerzas en la banda	19
Capítulo 3 Poleas y mecanismo de variación	21
3.1 Separación entre poleas	21
3.1.2 Caso de las relaciones de transmisión predefinidas	22
3.2 Mecanismo	23
3.2.1 Desalineación	24
3.2.2 Materiales	24
3.2.3 Análisis de esfuerzos	25
3.2.4 Rodamientos	26
3.3 Poleas, materiales y restricciones	26
3.4 Tornillos de potencia	26
3.4.1 Selección de la rosca	27
3.4.2 Eficiencia del tornillo	27
3.4.3 Autobloqueo	27

Capítulo 4 Control y controlador	28
4.1 Modos de operación del sistema	28
4.2 Diagramas de flujo	29
4.3 Diagrama a bloques del sistema	33
4.4 Ley de control	33
4.5 Controlador	34
Capítulo 5 Electrónica	35
5.1 Adquisición de datos	35
5.1.1 Sensor de Modo de Operación	35
5.1.2 Sensor de Posición del Acelerador	36
5.1.2.1 Sensor de Operación Sin Carga	36
5.1.2.2 Sensor de Operación a Plena Carga	36
5.1.3 Sensores de Cambio Manual	36
5.1.4 Sensor de Velocidad del Vehículo	36
5.1.5 Sensor de Velocidad del Motor	37
5.1.6 Sensor de Posición del Mecanismo	37
5.2 Salida de control	37
5.2.1 Etapa de Potencia	37
5.3 Visualización	37
5.3.1 Selector de velocidad	38
5.3.2 Tacómetro	38
5.3.3 Velocímetro	39
5.4 Diagrama general de conexiones	39
5.5 Motor eléctrico	41
5.6 Consumo eléctrico y baterías	42
Capítulo 6 Construcción y puesta en marcha	44
6.1 Implementación del software	44
6.2 Elaboración de los circuitos electrónicos	44
6.3 Manufactura mecánica	45
6.4 Mecanismo ensamblado	50
6.5 Puesta en marcha	51
6.6 Problemas presentados durante la puesta en marcha	52
Conclusiones	57
Apéndices	57
Apéndice A Motor oficial de competición	57
Apéndice B Coeficientes de resistencia a la rodadura	58
Apéndice C Programa para el cálculo de potencia	59
Apéndice D Programa para el cálculo de los diámetros de las poleas en función de la relación de transmisión	60
Apéndice E Programa para los microcontroladores	61
Apéndice F Programa para las Gales	66
Apéndice G Comparativos entre el uso de la polea conducida 770 y 790	67
Apéndice H Planos electrónicos	68
Apéndice I Planos mecánicos	71
Referencias bibliográficas y electrónicas	87

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1	Curvas características de un motor de C.I.	4
Fig. 1.2	Diagrama de cuerpo libre donde se ilustra el movimiento de un vehículo	5
Fig. 1.3	Resistencia a la rodadura	6
Fig. 1.4	Potencia requerida Vs. Velocidad máxima	8
Fig. 1.5	Potencia requerida Vs. Velocidad máxima	8
Fig. 1.6	Gráfico de cambios para el auto	9
Fig. 2.1	Geometría básica de un impulsor de banda	12
Fig. 2.2	Sección transversal de una banda en V y ranura de polea acanalada	13
Fig. 2.3	Ejemplos de construcción de bandas V	13
Fig. 2.4	Fuerza en puntos diferentes a lo largo de la banda	15
Fig. 2.5	Relación entre el ángulo de enrollamiento ψ y razón de tensión T_1/T_2	16
Fig. 2.6	Fuerzas en una cuña ahusada	20
Fig. 3.1	Geometría de la banda	21
Fig. 3.2	Ubicación de la banda en la polea	21
Fig. 3.3	Distancias lineales máximas requeridas en la polea	22
Fig. 3.4	Diámetro de la polea conductora Vs. Relación de transmisión	23
Fig. 3.5	Vista en perspectiva del mecanismo	23
Fig. 3.6	Vista inferior en perspectiva del mecanismo	24
Fig. 3.7	Análisis de esfuerzos para la torreta	25
Fig. 3.8	Análisis de esfuerzos para la horquilla	26
Fig. 4.1	Modos de operación del sistema	28
Fig. 4.2	Diagrama de flujo para el controlador secundario	30
Fig. 4.3	Diagrama de flujo del controlador primario	31
Fig. 4.4	Diagrama a bloques del sistema	33
Fig. 5.1	Conexión básica de un interruptor	35
Fig. 5.2	Caracteres del Selector de Velocidad	38
Fig. 5.3	Diagrama a bloques de la electrónica de control	39
Fig. 6.1	Vista superior de la tarjeta de visualización	45
Fig. 6.2	Poleas en bruto	46
Fig. 6.3	Flecha de la polea móvil	46
Fig. 6.4	Flecha de la polea fija	47
Fig. 6.5	Tuerca acoplada	47
Fig. 6.6	Husillo	48
Fig. 6.7	Ruedas dentadas	48
Fig. 6.8	Soporte del mecanismo	48
Fig. 6.9	Brazos de horquilla	49
Fig. 6.10	Separador del motor eléctrico	49
Fig. 6.11	Torreta de sujeción	49
Fig. 6.12	Transmisión electrónica y polea conducida	50
Fig. 6.13	Polea y mecanismo ensamblados y montados	51
Fig. 6.14	Fuerza axial generada en función del régimen y del radio	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Velocidad del auto Vs. Relación del sistema de poleas	11
Tabla 5.1 Intervalos de operación para el tacómetro	38
Tabla 5.2 Identificador de señales en del bus de datos	40
Tabla 5.3 Identificador de señales en controlador y tarjeta frontal	40
Tabla 5.4 Identificador de señales en controladores y tarjeta trasera	41
Tabla 5.5 Consumo de energía del sistema	42
Tabla 5.6 Tiempo de rendimiento de energía	43

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta un CVT (Continuously Variable Transmission) de tipo *push-pull* implementado con polcas para bandas en V, las cuales varían su relación de transmisión de manera continua dentro de su intervalo de operación, por medio de un sistema electromecánico gobernado por un microcontrolador.

El sistema es alimentado por un par de acumuladores secos de 12 V, los cuales proporcionan energía a la ctapa de control y a la de potencia; esta última representada por un motor eléctrico encargado de efectuar el movimiento relativo entre los platos opresores de la banda a través de un mecanismo de tornillo sin fin.

Se tienen dos modos básicos de operación: manual y automático; los cuales se podrán conmutar mediante un interruptor eléctrico mientras el vehículo se encuentre en marcha. En el modo automático el sistema ajusta la relación de transmisión para que se obtenga la mejor dinámica en el vehículo según el régimen de operación que se tenga en curso: par máximo o potencia máxima.

En el modo manual el piloto tiene la libertad de efectuar cambios secuenciales de velocidad a su conveniencia; asistido por algunos parámetros del sistema que se visualizan en el tablero de instrumentos, tales como velocidad del vehículo, velocidad del motor y relación de transmisión en curso.

ABSTRACT

This work presents the development of a *push-pull* pulley CVT for V bands, which one has a continuous interval of transmission ratio. The electro-mechanic system is controlled by a pair of micro-controllers.

The system have two operation modes: manual and automatic, those can be switched during the vehicle running.

The automatic mode adjusts the transmission ratio to get the better dynamic in the vehicle.

In the manual mode, the driver could shift the transmission ratio in the moment which he wished it. The driver is assisted with a display system where he can watch some parameters of the system such as the engine speed, the vehicle speed and the actual operation mode of the system.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una transmisión variable con control electrónico, capaz de operar de forma manual y automática; con aplicación en vehículos tipo Mini Baja.

OBJETIVO PARTICULAR

Realizar un diseño modular, compatible con los elementos de transmisión con los que cuenta actualmente el vehículo a fin de realizar pruebas y poder establecer comparaciones entre ambos sistemas.

PALABRAS CLAVE

Automática, banda, CVT, manual, Mini Baja, secuencial, tacómetro, transmisión, velocímetro,

INTRODUCCIÓN

La fórmula Mini Baja consiste en el diseño y construcción de un vehículo tubular todo terreno, impulsado por un motor de 10 HP; el cual debe estar diseñado conforme un reglamento en el que se establecen los lineamientos para la elaboración de los prototipos. Dentro de la competencia el auto se somete a pruebas en las que se mide la eficiencia de los sistemas. Entre estas pruebas se encuentran: aceleración, frenado, pendiente, arrastre, “rock crawling”, maniobrabilidad y resistencia.

La experiencia generada apunta a que el principal enemigo es el peso total del auto y que los sistemas cruciales para lograr un buen desempeño son *transmisión y suspensión*.

El sistema de transmisión más ampliamente usado en este tipo de vehículos es el de CVT (Continuously Variable Transmission) acoplado a una etapa de reducción. El sistema típico de CVT empleado en Mini Baja está conformado básicamente por un par de poleas de transmisión para bandas V que varían su separación entre platos, logrando así que también varíe el radio efectivo de giro y en consecuencia, la relación de transmisión. La etapa de reducción es para acondicionar el eje de salida al par o la velocidad deseada.

Existen en el mercado dos tipos de CVTs¹, los sensibles a la velocidad y los sensibles al par. En los sistemas *sensibles a la velocidad* las poleas cambian su relación de transmisión de manera proporcional a la velocidad del eje de entrada, por medio de un mecanismo cuyo principio de operación es la fuerza centrífuga; por lo que la velocidad de salida es una función cuadrática de la velocidad de entrada. Para esta aplicación este fenómeno es poco deseable, ya que el excesivo aumento de velocidad trae consecuentemente una disminución drástica en el par de salida.

Para compensar este efecto se han desarrollado sistemas *sensibles al par*, los cuales tienen un principio de operación similar; solo que al detectar una alta demanda de par, el sistema se auto ajusta para lograr una mayor relación de transmisión y satisfacer así las necesidades de par.

Actualmente el equipo MB-UPHITA cuenta con un sistema de transmisión de estas características, y aunque ha brindado un buen desempeño general, se han observado algunos puntos de mejora. Como el sistema es completamente mecánico, para lograr un cambio en su operación se requiere del reemplazo de alguna parte física, como un resorte o una masa de acción centrífuga; e incluso hay características imposibles de modificar, como la constante de proporcionalidad de su característica de sensibilidad al par.²

Dado que el reglamento establece que durante el desarrollo de las competencias no se permite modificar los sistemas del auto; se debe establecer un punto de operación en el que se logre un equilibrio entre la velocidad máxima y la fuerza de arrastre.

Como se ha visto, los autos se someten a condiciones extremas, por lo que también se deben tener condiciones de operación extremas. En el sistema de transmisión se requiere de un alto par en el arrastre o las pendientes; mientras que es deseable desarrollar una gran velocidad en pista, lo que obliga a utilizar sistemas con un amplio intervalo de operación.

El desarrollo de una transmisión con control electrónico surge entonces de dos grandes necesidades:

¹ Según el catálogo de COMET, la marca más popular de CVTs para Mini Baja.

² Se tendría que modificar el ángulo de la hélice de sensibilidad al par, el cual es parte de la fundición de la polea.

- 1) Contar con un sistema suficientemente versátil que permita un cambio en su modo de operación de forma ágil y rápida, según las necesidades de cada prueba o condición de manejo.
- 2) Contar con un sistema que tenga un amplio intervalo de operación, mayor que el de los sistemas comerciales disponibles.

Una ventaja de disponer de un sistema controlado por una computadora de a bordo, es que las modificaciones se pueden hacer a través de software, lo que implica un corto tiempo en su modificación y un costo mínimo en su implementación; además de poder cambiar la forma de operación del sistema de manera dinámica con sólo conmutar un interruptor.

Además de ello, al realizarse los cambios de velocidad de manera continua no se tienen tiempos de potencia cero, como sucede al accionar el sistema de *clutch*, por lo que se pueden disminuir los tiempos de aceleración del auto. Aunado a este punto se observa que al mantener el motor operando a un régimen óptimo se puede conseguir una buena dinámica del auto.

Otra ventaja es el hecho de que en las competencias internacionales se califica fuertemente la labor de diseño e innovación tecnológica; por lo que se espera tener puntos adicionales en la competencia por este concepto.

En el presente trabajo se reportan las consideraciones que se han hecho en el diseño de este dispositivo y las soluciones encontradas a los problemas de ingeniería que se presentaron.

En el capítulo 1 se describe la necesidad técnica del cambio de velocidades, las curvas características del motor de combustión interna y su relación con la demanda de par impuesta por el camino. También se hace un cálculo de potencia requerida para operar un auto en distintas condiciones de operación, donde se pone de manifiesto que no se pueden alcanzar altas velocidades con la potencia disponible. Finalmente se hace un cálculo del número mínimo de relaciones de transmisión que se requieren para operar el motor en su intervalo de régimen estacionario y con base en estos datos se presenta el cálculo de la relación de transmisión fija y de las relaciones de transmisión requeridas en el sistema de poleas.

En el capítulo 2 se presentan las generalidades de los sistemas de bandas en V junto con algunos parámetros de diseño. Posteriormente se selecciona la banda de transmisión y se realiza el diseño del sistema de transmisión, obteniéndose algunos parámetros importantes como las relaciones máximas de transmisión, las velocidades críticas en ambas poleas, la distancia entre centros requerida y la relación mínima de tensiones en la banda. Finalmente se realiza un cálculo estático de la fuerza requerida para desplazar la banda en las poleas.

En el capítulo 3 se describe la geometría de la banda, las separaciones requeridas en los casos críticos y en los casos de relaciones de transmisión predefinidas. Posteriormente se describe la propuesta del mecanismo con materiales propuestos y se presentan algunos análisis en las piezas críticas. También se analizan los rodamientos y el eje roscado.

En el capítulo 4 se describen los tres modos básicos de operación del sistema y las consideraciones generales que se toman en cuenta para operarlos; con base en estos datos se generan los diagramas de flujo para los controladores primario y secundario. Se muestra también un diagrama a bloques del sistema completo; la parte de transmisión de potencia del motor de combustión interna y la sección de control que va a gobernar a la polea variable, así como las señales de entrada y salida del sistema. Posteriormente se indica la acción de control que se seleccionó para actuar el sistema y los microcontroladores a emplear.

La sección de electrónica se presenta en el capítulo 5. En ella se abordan temas como el acondicionamiento de señal de los elementos de entrada y salida para el microcontrolador propuesto, especificando los sensores seleccionados para cada aplicación y sus características generales. Para las señales de salida se especifica el

tipo de salida que va a generar el microcontrolador y la etapa de potencia a emplear; se indica también el tipo de salida en la etapa de visualización de parámetros como el selector de velocidad, tacómetro y velocímetro. Posteriormente se realiza un análisis para determinar las características del motor eléctrico a emplear y con base en el parámetro de consumo eléctrico del motor y los demás componentes electrónicos se hace un estimado de la energía necesaria para operar el sistema durante una competencia y las baterías correspondientes.

En el capítulo 6 se describe la forma en que se realizó la manufactura de los elementos mecánicos, electrónicos y de control. Se presenta también la forma en que se puso en marcha el sistema y las eventualidades presentadas en esta parte crítica del proyecto.

A continuación se presentan las conclusiones y una sección de apéndices donde se muestran algunos datos relevantes del sistema, como son las curvas características del motor, los programas generados, los planos electrónicos y mecánicos; así como una tabla comparativa entre sistemas de polca conducida en operación con la polea desarrollada. Finalmente se presentan las referencias consultadas, tanto bibliográficas como electrónicas.

CAPÍTULO 1 EL CAMBIO DE VELOCIDADES

Un sistema de transmisión de potencia de un vehículo tiene dos funciones. Además de transmitir la potencia del motor a las ruedas, también permite cambiar el par y la velocidad del motor en el par y velocidad requerida en las ruedas para distintas tareas. Para salir de un estado de reposo o subir una colina se requiere un par elevado, mientras que para trayectos planos se requiere desarrollar velocidad. Una transmisión ideal deberá proporcionar un número infinito de combinaciones de velocidad y empuje, dentro de los límites de velocidad deseados.

1.1 Necesidad técnica del cambio de velocidades

La potencia y el par desarrollados por un motor de combustión varían en función del régimen, alcanzándose el valor máximo de la primera para una determinada velocidad de rotación, mientras que el par máximo se obtiene generalmente a un régimen inferior.

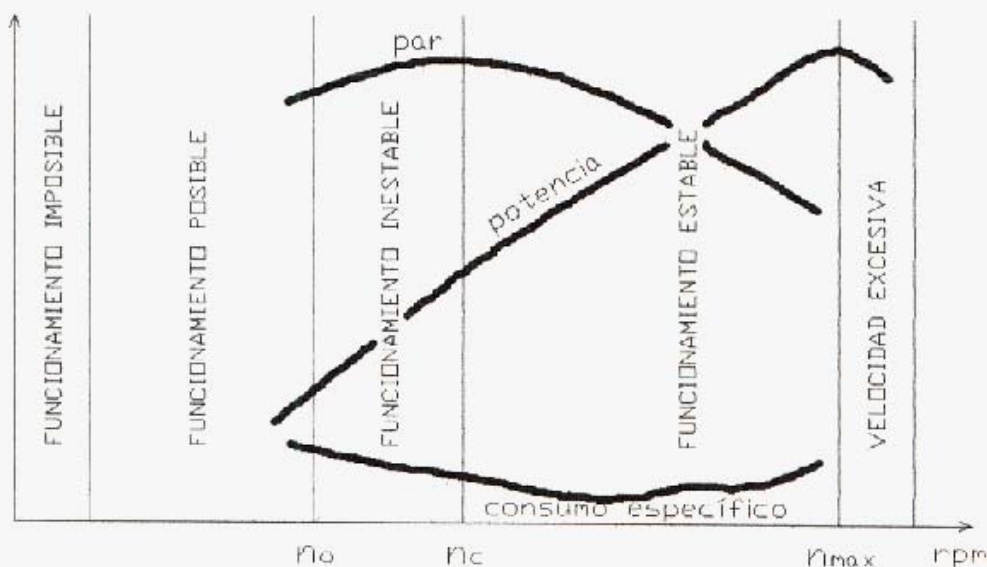


Fig. 1.1 Curvas características de un motor de C.I. (Font,2001,pag. 6.5)

El par motor, multiplicado por el número de revoluciones da la potencia desarrollada, de esto se deduce que la potencia de un motor varía fundamentalmente con el régimen de giro, correspondiendo los mayores valores con los regímenes más altos. A pesar de que el par disminuye en estos márgenes, el número de explosiones por minuto aumenta grandemente, lo que conlleva a un incremento en la potencia desarrollada por el motor.

El funcionamiento del motor es estacionario y regular sólo a regímenes comprendidos entre el par máximo y el régimen de potencia máxima. Considere una velocidad de rotación del motor cualquiera, comprendida entre el intervalo antes señalado, a la que corresponde un par motor determinado; cuando aumentan las resistencias a vencer en la marcha del vehículo (p.e. subir una pendiente), sobreviene una disminución de la velocidad de rotación, pero también trae como

consecuencia un aumento en el par motor desarrollado, necesario para vencer la mayor resistencia; estableciéndose así una nueva condición de equilibrio.

De esto resulta evidente la necesidad de contar con un dispositivo mecánico, como el cambio de velocidades, que permita el funcionamiento del motor en el intervalo estacionario, independientemente de la resistencia encontrada por el vehículo durante su marcha.

1.2 Pérdidas de potencia

La pérdida de potencia es inherente a la mayoría de los sistemas energéticos, en algunas ocasiones es deseable que se presente este fenómeno (p.e. para amortiguar fuerzas); sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones se trata de minimizar, ya que aumenta la energía total necesaria para operar los sistemas. En los vehículos es un factor muy importante, ya que se trata de alcanzar grandes velocidades con una fuente pequeña de energía.

La velocidad a la que deseamos desplazarnos determina la potencia requerida para el sistema, por lo que para una fuente de potencia dada tendremos un intervalo de combinaciones posibles de par y velocidad. La relación básica de este concepto viene dada por:

$$P = Fv \quad (1.1)$$

donde:

P es la potencia requerida [W]

F es la fuerza a vencer [N]

v es la velocidad a la cual nos deseamos desplazar [m/s]

Excepto para casos muy especiales, la complejidad inherente y la no linealidad de las ecuaciones de movimiento de un vehículo hacen su situación analítica muy difícil, si no imposible. Sin embargo, mucha información útil, en particular para evaluar el rendimiento de campo del vehículo puede obtenerse de un análisis de equilibrio estático (Liljedahl, 1984).

Para determinar la fuerza de tracción total requerida se hace un análisis de equilibrio estático en un caso crítico de un terreno con una pendiente, según la figura 1.2.

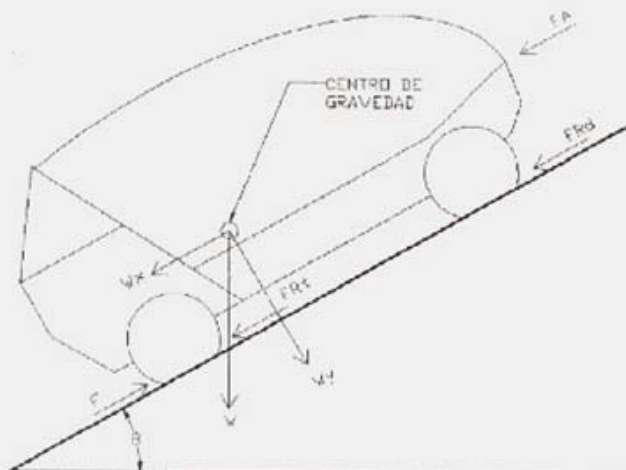


Fig. 1.2 Diagrama de cuerpo libre donde se ilustra el movimiento de un vehículo.

Entonces:

$$F = W_x + FA + FRt + FRd \quad (1.2)$$

donde:

F es la fuerza de tracción requerida.

W es el peso total del vehículo.

θ es el ángulo de inclinación de la pendiente.

FA es la fuerza de arrastre aerodinámico.

FR es la fuerza de rodadura trasera y delantera, respectivamente.

1.2.1 Resistencia a la rodadura (Beer, 1997)

La rueda elimina las grandes fuerzas de fricción que se presentarían si la carga estuviera en contacto directo con el suelo; sin embargo, existe cierta resistencia al movimiento de la rueda, la cual tiene dos causas distintas: 1) el efecto combinado de la fricción en el eje y de la fricción en el aro y 2) el hecho de que la rueda y el suelo se deforman, ocasionando que el contacto entre la rueda y el suelo ocurra sobre una cierta área en lugar de ocurrir en un punto.

La evidencia experimental muestra que la resultante de las fuerzas ejercidas por el piso sobre la rueda a lo largo de dicha área es una fuerza R aplicada en un punto B, el cual no está localizado directamente por debajo del centro O de la rueda, sino está localizado ligeramente hacia el frente de la rueda (figura 1.3). Para equilibrar el movimiento de W con respecto de B y para mantener la rueda en equilibrio (rodando a velocidad constante), es necesario aplicar una fuerza horizontal P en el centro de la rueda.

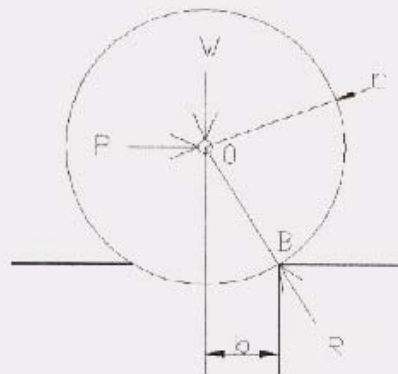


Fig. 1.3 Resistencia a la rodadura.

Entonces:

$$Pr = Wb \quad (1.3)$$

donde:

r es el radio de la rueda

b es la distancia horizontal entre O y B

Comúnmente la distancia b recibe el nombre de *coeficiente de resistencia a la rodadura*. Se debe señalar que b no es un coeficiente adimensional, puesto que representa una longitud. Usualmente se

expresa a b en pulgadas o en milímetros. El valor de b depende de varios parámetros en una forma que aún no se ha establecido claramente.

Los datos de fricción por rodadura son escasos. El apéndice B muestra una tabla de coeficientes de resistencia por rodadura de diversos tipos de ruedas para condiciones típicas de caminos y del campo según McKibben y Davidson (Marks, 1995).

1.2.2 Fuerza de arrastre aerodinámico

Cualquier cuerpo moviéndose a través de un fluido experimenta una *fuerza de arrastre*, opuesta a su movimiento; la cual es función de su velocidad relativa, la viscosidad y la densidad del medio, la forma del cuerpo y la rugosidad de su superficie.

El método más común de modelado matemático está dado por la ecuación:

$$F_A = \frac{C_A \rho A v^2}{2} \quad (1.4)$$

donde:

F_A es la fuerza de arrastre [N]

C_A es el coeficiente de arrastre

ρ es la densidad del medio [kg/m^3]

A es el área de la sección transversal [m^2]

v es la velocidad relativa del cuerpo en el medio [m/s]

1.3 Potencia requerida

Según se ha visto, se requiere determinar la fuerza necesaria para mantener las condiciones de equilibrio del sistema y estimar la potencia requerida de acuerdo a las necesidades de velocidad. De la Ec. 1.2 vemos que:

$$\begin{aligned} F &= W_x + FA + FRt + FRd = W_x + FA + FR\dots \\ \dots &= W_x + FA + \frac{W_y b}{r} = W \left(\text{sen}(\theta) + \frac{b}{r} \cos(\theta) \right) + FA \\ F &= W \left(\text{sen}(\theta) + \frac{b}{r} \cos(\theta) \right) + \frac{C_A \rho A v^2}{2} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Si se sabe que el diámetro de los neumáticos es de 54 cm, que el peso total del vehículo es de 280 kg (con piloto de 70kg) y tomando $b = 0.379'' = 9.6266 \text{ mm}^1$, se está en posibilidad de obtener los resultados de la potencia necesaria para diferentes condiciones de operación.

Se ha realizado un programa en Matlab donde se proponen diferentes condiciones de operación y se arrojan los siguientes resultados (figura 1.4 y 1.5):

¹ Véase la tabla presentada en el apéndice B.

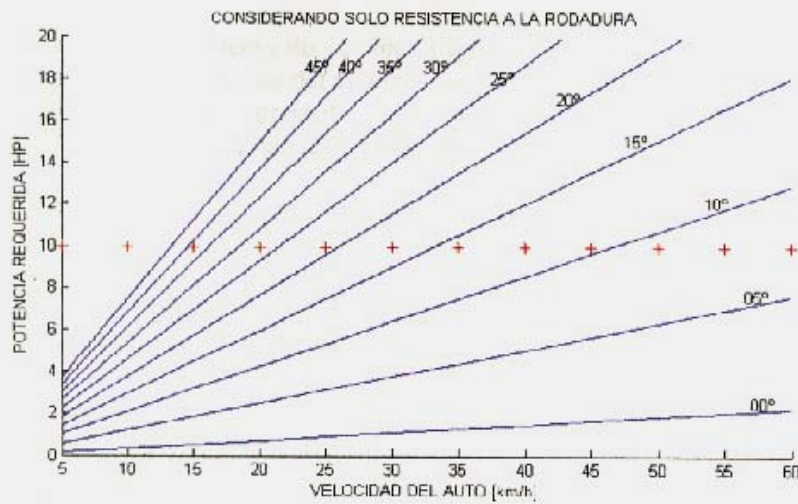


Fig. 1.4 Potencia requerida Vs. Velocidad máxima.

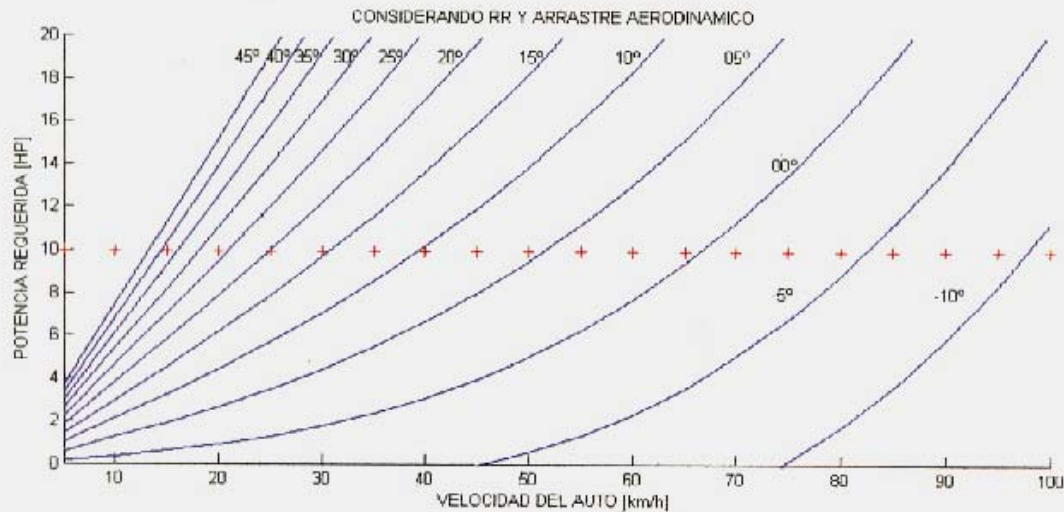


Fig. 1.5 Potencia requerida Vs. Velocidad máxima.

El análisis de estos gráficos pone de manifiesto que la velocidad máxima del auto se ve limitada principalmente por dos condiciones: en una pendiente, por el ángulo de inclinación de la misma; mientras que en una condición de velocidad, por la fuerza de arrastre aerodinámico. De la figura 1.4 observamos que las pérdidas por rodadura son menores, aunque no despreciables (curva a 0°).

De esto se deduce que el desempeño del auto se mejorará si se reduce el peso total del mismo y también si se disminuye la fuerza de arrastre, teniendo una sección frontal más reducida y/o un menor coeficiente de arrastre, producto de un diseño aerodinámico.

1.4 Número mínimo de relaciones de transmisión

Las distintas relaciones de un sistema de cambios pueden representarse en un diagrama al que se grafican en las abscisas las velocidades del vehículo y en las ordenadas los regímenes del motor. Se obtiene así una serie de rectas que representan las diferentes relaciones de velocidades, limitadas en la parte superior por el régimen máximo del motor y en la inferior por el mínimo al que es capaz de mantenerse operando (figura 1.6).

En el apéndice A se encuentran curvas características del motor reglamentario para las competencias de Mini Baja. De estos gráficos se ha tomado un régimen de operación de 2600 a 3800 rpm² para el estado estacionario. Con base en pruebas experimentales se ha determinado que el límite inferior de operación es de 1100 rpm.

Considerando la potencia requerida (figura 1.5) se propone una velocidad máxima de 65 km/h y una velocidad tope en 1ª de 11 km/h, con lo cual se construye un gráfico de cambios.³

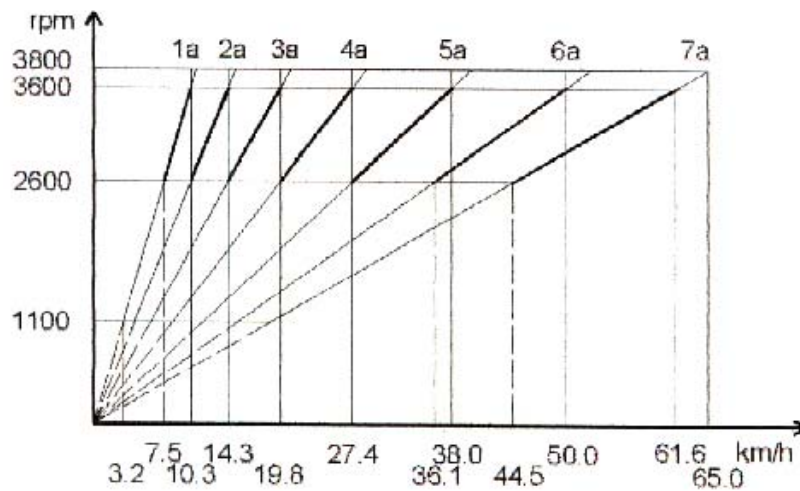


Fig. 1.6 Gráfico de cambios para el auto.

Por lo que observamos que se requieren al menos **7 velocidades** para operar el motor en el estado estacionario y cubrir las necesidades de velocidad del vehículo.

1.5 Etapa de reducción

Dado que el régimen de revoluciones al que se trabaja el motor es alto en relación con el requerido en el eje final, se requiere de una etapa de reducción para acoplar ambos ejes.

² Velocidad máxima de operación según el reglamento de competición 2005.

³ El valor de velocidad máxima corresponde a un caso en donde el auto se encuentra en una ligera pendiente descendente; para evitar que el motor se desboque cuando se presente una situación similar.

Parte de esta reducción se obtiene directamente del sistema de poleas, cuando trabaja como reductor de velocidad; sin embargo, su intervalo de operación no es tan amplio, por lo que se requiere de una reducción fija de velocidad.

El cálculo de la reducción fija se hace considerando la velocidad máxima deseada, la velocidad máxima del motor y la relación máxima obtenida en la polea. Tomando la relación:

$$v = \omega r = 2\pi f r = \pi f D \quad (1.6)$$

Incluyendo la reducción total:

$$v = \frac{\pi f D}{N} \quad (1.7)$$

donde:

v es la velocidad del auto [m/s]

f es la frecuencia de operación del motor [Hz]

D es el diámetro del neumático [m]

N es la relación total de transmisión

Tomando los valores máximos de velocidad a 3800 rpm:

$$N = \frac{\pi f D}{v} = \frac{\pi \frac{3800}{60} 0.54}{65} = 5.95 \quad (1.8)$$

Como las poleas en este estado trabajan como multiplicadoras de velocidad y dado que en el límite de operación tienen una relación “ N_p ” de 1:1.75 ($1/1.75 = 0.57$)⁴:

$$N_R = \frac{N}{N_p} = \frac{5.95}{0.57} = 10.44 \quad (1.9)$$

Donde N_R es la relación de reducción fija que se propone para operar el sistema.

1.6 Cálculo de relaciones de transmisión

Tomando la relación de (1.8) y combinándola con (1.9) tenemos que:

$$N_p = \frac{\pi f D}{N_R v} \quad (1.10)$$

A partir de esta fórmula y con base en la figura 1.6 se elaboró la tabla 1.1, donde se muestra la velocidad del auto y la relación de transmisión correspondiente para el sistema de poleas considerando un régimen del motor de 3600 rpm.

⁴ Esta relación de multiplicación de velocidad se analiza en el siguiente capítulo.

Velocidad Lineal Máxima	Relación requerida en las poleas [No]
[km/h]	[X: 1]
10.3	3.41
14.3	2.46
19.8	1.77
27.4	1.28
38.0	0.92
50.0	0.70
61.6	0.57

Tabla 1.1 Velocidad del auto Vs Relación del sistema de poleas.

De donde observamos que en el modo manual se emplea casi por completo el intervalo de operación del sistema.

CAPÍTULO 2 BANDA DE TRANSMISIÓN

Bandas, embragues y frenos son ejemplos de elementos de máquinas que usan la fricción como agente benéfico. Las transmisiones flexibles, como las bandas, tienen propiedades que a veces son deseables: absorben vibraciones y choques, de los que tienden a transmitir solo un mínimo al eje conectado, son silenciosas y son adecuadas para distancias entre centros relativamente grandes.

El diseño de dispositivos que trabajan a fricción está sometido a incertidumbres en el valor del coeficiente de fricción que de manera obligada debe usarse. (Faires, 1995)

2.1 Generalidades de los sistemas de banda (Spotts, 1999)

Una banda es un elemento flexible capaz de transmitir potencia, asienta en una polea o conjunto de poleas planas o acanaladas. La figura 2.1 muestra su disposición básica.

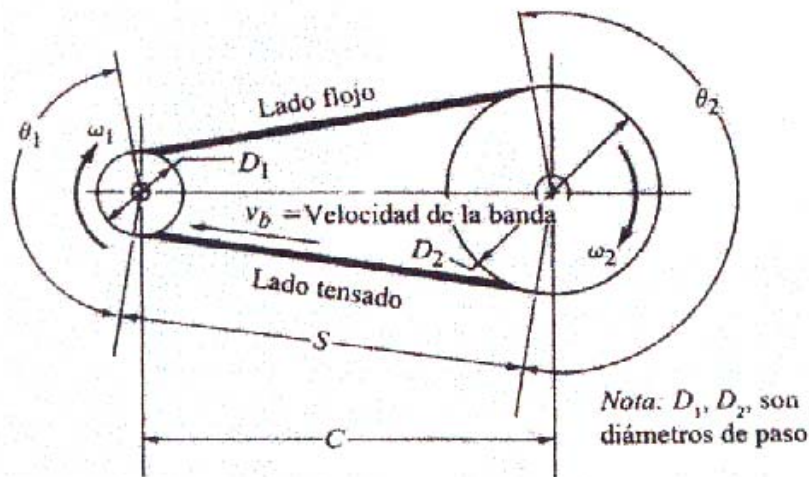


Fig. 2.1 Geometría básica de un impulsor de banda. (Mott, 1995, 532)

Cuando se transmite potencia, la fricción provoca que la banda se adhiera a la polea impulsora, y, a su vez, se incrementa la tensión en un lado al que se le denomina “lado tenso del impulsor”. La fuerza de tracción que se origina en la banda ejerce una fuerza tangencial sobre la polea acanalada que es impulsada, en consecuencia, se aplica un par a la flecha que es impulsada. El lado opuesto de la banda aún está en tensión, pero de menor valor; por lo que se le denomina “lado flojo”.

La polea, con una ranura circunferencial sobre la que se apoya la banda se denomina *polea acanalada*. El tamaño de una polea acanalada se indica mediante su *diámetro de paso*, poco más pequeño que el diámetro exterior de la polea.

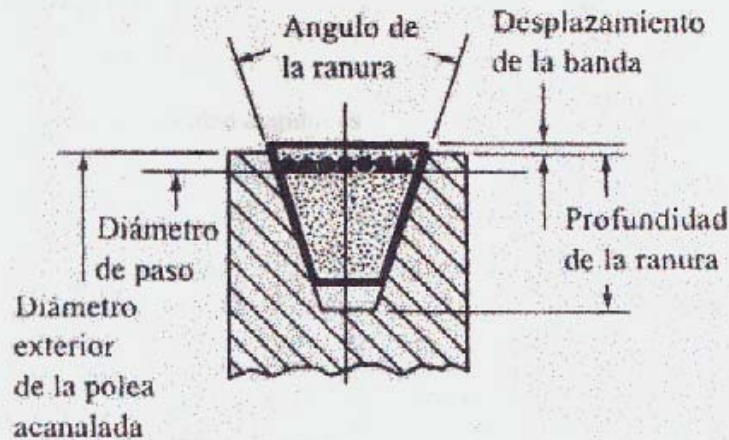


Fig. 2.2 Sección transversal de una banda en V y ranura de p Polea acanalada. (Mott,1995,534)

En ocasiones se utilizan bandas dentadas, ya que los dientes le dan mayor flexibilidad y pueden operar con diámetros de p Polea más reducidos, si se les compara con bandas lisas estándar (figura 2.3).



Fig. 2.3 Ejemplos de construcción de bandas V. (Mott,1995,533)

La forma en V de la banda se inserta apretadamente en la ranura, por la acción de cuña aumenta la fricción y permite transmitir pares de magnitud considerable antes de que se presente deslizamiento. Casi todas las bandas tienen cuerdas de alta resistencia colocadas en el diámetro de paso de la sección transversal de la banda para incrementar la resistencia al esfuerzo de tracción.

Las cuerdas que se fabrican de fibras naturales, hebras sintéticas o acero, se impregnan de un compuesto de hule duro para proporcionar la flexibilidad que se requiere para permitir que la banda pase alrededor de la p Polea. A menudo se agrega una cubierta exterior de tela para darle una durabilidad satisfactoria a la banda.

2.2 Datos de diseño de bandas en V (Mott,1995)

Las observaciones importantes de una disposición como la mostrada en la figura 2.1 se resumen a continuación.

1. La relación de velocidad entre la p Polea impulsora y la impulsada es inversamente proporcional a la relación de los diámetros de paso de las p Poleas. Por consiguiente la velocidad lineal de la línea de paso de ambas p Poleas acanaladas es la misma e igual a la velocidad de la banda v_b .

$$v_b = R_1\omega_1 = R_2\omega_2 \quad (2.1)$$

Por lo que la relación de velocidad angular es

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad (2.2)$$

2. La velocidad lineal de la banda es por lo regular de 2500 a 7000 pies por minuto. A velocidades más bajas la tensión en la banda es demasiado alta para secciones transversales típicas. A velocidades mayores los efectos dinámicos como las fuerzas centrífugas, el chicoteo de la banda, así como la vibración reducen la eficiencia del impulsor y su vida útil. Por lo general una velocidad de 4000 pies/minuto resulta ideal.

La velocidad de la banda en pies por minuto está dada por:

$$v_b = \frac{\pi D n}{12} \quad (2.3)$$

donde D es el diámetro de la polea en pulgadas y n es su velocidad en rpm.

3. Las relaciones entre longitud de paso L , distancia entre centros C y los diámetros de las poleas son:

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad (2.4)$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \quad (2.5)$$

donde $B = 4L - 6.28(D_2 + D_1)$

El rango nominal de las distancias centrales debe ser:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \quad (2.6)$$

4. La longitud del espacio libre entre la dos poleas acanaladas, a lo largo de la cual la banda no tiene apoyo alguno es:

$$S = \sqrt{C^2 - \left[\frac{D_2 - D_1}{2} \right]^2} \quad (2.7)$$

Esto es importante por dos razones. La tensión adecuada de la banda puede verificarse midiendo la cantidad de fuerza que se requiere para flexionar la banda a la mitad del espacio libre en una cantidad específica. A su vez, la tendencia de la banda a vibrar o chicotear depende de esta longitud.

5. La fuerza pico en la banda se considera como formada de la tensión en el lado tenso T_1 mas una fuerza T_b causada por la flexión alrededor del la polea y una fuerza T_c debida a los esfuerzos centrífugos. En el punto B de la figura 2.4 la fuerza F_1 es entonces

$$F_1 = T_1 + T_{b1} + T_c \quad (2.8)$$

De manera similar, en el punto E la fuerza pico F_2 es igual a:

$$F_2 = T_2 + T_{b2} + T_c \tag{2.9}$$

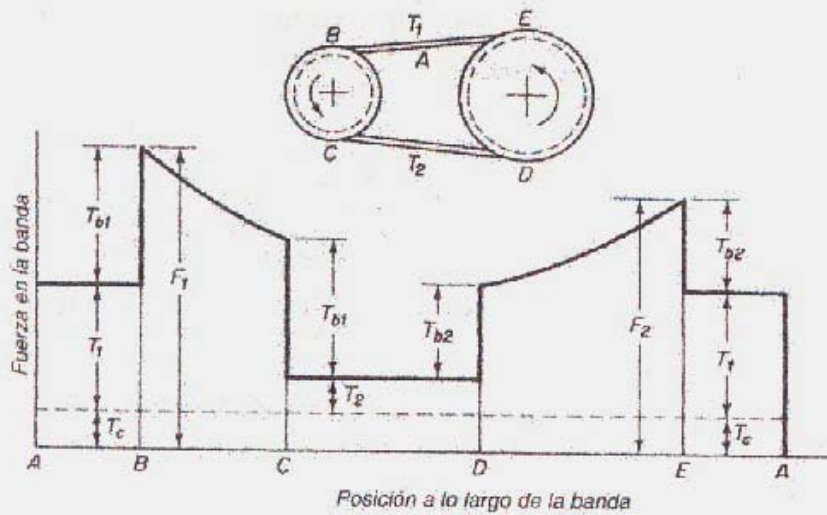


Fig. 2.4 Fuerza en puntos diferentes a lo largo de la banda. (Spotts,1999,334)

Las bandas se diseñan bajo el supuesto de que pueden soportar un cierto número de fuerzas pico antes de que ocurra la falla por fatiga. El desempeño por fatiga de un sistema de banda V se determina por medio de pruebas experimentales. Existen diámetros mínimos que se recomiendan para bandas estándar, ya que al utilizar poleas acanaladas más pequeñas se reduce en forma radical la vida útil de la banda.

6. El ángulo de contacto de la banda en cada polea acanalada es:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1} \left\langle \frac{D_2 - D_1}{2C} \right\rangle \tag{2.10}$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2 \operatorname{sen}^{-1} \left\langle \frac{D_2 - D_1}{2C} \right\rangle \tag{2.11}$$

El ángulo de la envolvente en la polea más pequeña (θ_1) debe ser mayor que 120° .

7. La capacidad de transmisión de una banda en V antes de que se presente el deslizamiento está dada por (Holowenko,1971):

$$\frac{T_1 - \frac{wv^2}{g}}{T_2 - \frac{wv^2}{g}} = e^{\frac{f\theta}{\operatorname{sen} \frac{\beta}{2}}} \tag{2.12}$$

donde:

- w es el peso de 1 m de banda
- v es la velocidad de la banda [m/s]
- g es la aceleración de la gravedad [m/s²]
- f es el coeficiente de fricción entre la banda y la polea
- θ es el ángulo de abrazamiento [rad]
- β es el ángulo de la garganta [°]

8. Comúnmente para poleas de igual diámetro, el lado apretado a tensión T_1 se toma como cinco veces el lado a tensión T_2 . El ángulo de enrollamiento sobre la polea menor o impulsora es menor cuando las poleas son de diámetros diferentes y la razón T_1/T_2 disminuye. Sea $\psi = \theta_1/2$; la relación entre $\cos \psi$ y T_1/T_2 está dada por la figura 2.5 (Spotts,1999).

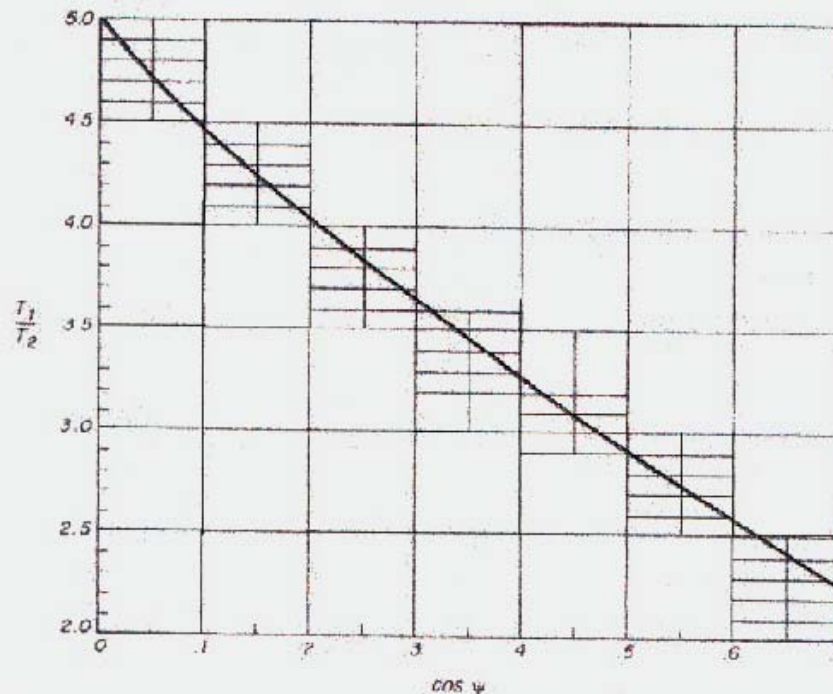


Fig. 2.5 Relación entre el ángulo de enrollamiento ψ y razón de tensión T_1/T_2 . (Spotts,1999,332)

2.3 Selección de la banda

Las bandas de velocidad variable (RVS) son comunes en los catálogos de la mayoría de los fabricantes (no así en los locales distribuidores). Estas bandas se producen con distintas dimensiones en ancho de la sección, longitud total de la banda y ángulo de garganta.

Dado que el sistema que se desarrolla necesita además de variar la velocidad, un elemento que permita acoplar y desacoplar la transmisión de potencia, el uso de este tipo de bandas comerciales no resulta adecuado, ya que el espesor de la banda es reducido y su uso representaría un desgaste excesivo en las superficies de contacto.

COMET ha desarrollado convertidores de par con acción de clutch y para sus sistemas ofrece una gama de bandas con un espesor mayor que las RVS comerciales. Se ha elegido una de ellas, la cual tiene las siguientes características:

Marca:	COMET
Modelo:	300663 - 704096
Ángulo de garganta:	22°
Ancho de sección:	1 ³ / ₁₆ pulg.
Longitud total (exterior):	43.4 pulg.

2.4 Diseño de la transmisión por banda

Para el diseño de la transmisión se ha propuesto una polca de tamaño similar a la polea conducida, con el objeto de mantener al conjunto trabajando con un ángulo de contacto lo más grande posible, ya que la mayor transmisión de potencia se logra cuando $\theta = 180^\circ$, según la ecuación 2.12.

Los diámetros de paso propuestos son entonces¹:

$$\begin{aligned} \text{Polea Conducida:} & \quad \rightarrow \quad D_{\min} = 2.8125 \text{ pulg} = 71.44 \text{ mm} \\ & \quad \rightarrow \quad D_{\max} = 7.8125 \text{ pulg} = 198.44 \text{ mm} \end{aligned}$$

A pesar de que estos diámetros son menores que los recomendados para transmisiones por banda convencionales², los valores propuestos son ligeramente mayores que los que COMET utiliza en sus sistemas (2 pulgadas). Esto permite que la banda tenga una vida útil mayor, al disminuir la probabilidad de falla por fatiga debido a la flexión.

Los diámetros de la polea conducida disponible son:

$$\begin{aligned} \text{COMET 770:} & \quad \rightarrow \quad D_{\min} = 4.4766 \text{ pulg} = 113.70 \text{ mm} \\ & \quad \rightarrow \quad D_{\max} = 9.6625 \text{ pulg} = 245.42 \text{ mm} \end{aligned}$$

Las **velocidades angulares críticas** del sistema se tienen con el motor trabajando a su mayor régimen y en las **máximas relaciones de transmisión**, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Si } N &= \frac{245.42}{71.44} = 3.44 \quad \rightarrow \quad \boxed{3.44:1} \quad \eta_1 = 3800 \text{ rpm} \quad \eta_2 = 1105 \text{ rpm} \\ \text{Si } N &= \frac{113.70}{198.44} = 0.57 \quad \rightarrow \quad \boxed{1:1.75} \quad \eta_1 = 3800 \text{ rpm} \quad \eta_2 = 6667 \text{ rpm} \end{aligned}$$

De donde se observa que en la etapa de reducción de velocidad se tiene una relación de 3.44, mientras que en la etapa multiplicadora se logra una relación de 0.57. Con esto obtenemos un **intervalo total de operación (overall)** de 6.03:1, mayor que el del sistema actual.³

La **velocidad de la banda** es entonces:

$$\rightarrow \quad (v_b)_1 = \frac{\pi D_1 n_1}{12} = \frac{\pi \left(2 \frac{13}{16} \right) (3800)}{12} = 2798 \frac{\text{ft}}{\text{min}} = 852.8 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

¹ Tomando en cuenta que para la banda propuesta se tiene una distancia de 3/32 pulg. entre la circunferencia exterior y la de paso.

² Para un diseño con banda tipo D se sugiere un diámetro mínimo de 7 pulgadas.

³ Con el sistema actual se tiene un **overall** de 5.20, con las respectivas relaciones de 3.95:1 y 0.76:1.

$$\rightarrow (v_b)_2 = \frac{\pi D_2 n_1}{12} = \frac{\pi \left(7 \frac{13}{16}\right) (3800)}{12} = 7772 \frac{ft}{min} = 2368.9 \frac{m}{min}$$

Por lo que vemos que con el mayor diámetro y el motor operando a su máximo de revoluciones apenas excede en 11% la velocidad máxima recomendada en la sección 2.2.

La **distancia entre centros** se calcula a partir de la longitud de la banda "L". Como esta longitud corresponde a la circunferencia exterior, se debe calcular entonces la longitud correspondiente al diámetro de paso.

$$\begin{aligned} L_{ext} &= 43.4 \text{ pulg} = 1102.36 \text{ mm} \\ \Phi_{ext} &= 13.81 \text{ pulg} = 350.89 \text{ mm}, \end{aligned}$$

Por lo tanto:⁴

$$\begin{aligned} \Phi_{paso} &= 13.63 \text{ pulg} = 346.13 \text{ mm} \\ L_{paso} &= 42.81 \text{ pulg} = 1087.40 \text{ mm} \end{aligned}$$

De la ecuación 2.5 tenemos:

$$B = 4(1087.40) - 6.28(245.42 + 71.44) = 2359.72$$

$$\rightarrow C = \frac{2359.72 + \sqrt{(2359.72)^2 - 32(245.42 - 71.44)^2}}{16} = 281.53 \text{ mm} \approx 11.08 \text{ pulg}$$

Cumpliendo entonces con la distancia entre centros recomendada (ecuación 2.6).

$$203.2 < C=281.53 < 838.2$$

La longitud del espacio libre de la banda en cada extremo es (ecuación 2.7):

$$S = \sqrt{(281.53)^2 - \left[\frac{245.42 - 71.44}{2} \right]^2} = 267.75 \text{ mm}$$

En este caso no se puede medir la tensión inicial de la banda según el método estático, como se hace normalmente⁵; sin embargo, este dato nos revela que la longitud de espacio libre es reducida, teniendo entonces un efecto de chicoteo mínimo en la banda.

El **ángulo de contacto** de la banda en cada polea es (ecuaciones 1.10 y 2.11):

$$\rightarrow \theta_1 = 180^\circ - 2 \text{sen}^{-1} \left\langle \frac{245.42 - 71.44}{2(281.53)} \right\rangle = 144.0^\circ$$

⁴ Tome en cuenta que el diámetro de paso de la banda se encuentra aproximadamente a 3/32 de pulgada de la circunferencia exterior.

⁵ Inicialmente la banda está "floja" debido a la acción de *clutch* del sistema.

$$\rightarrow \theta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{245.42 - 71.44}{2(281.53)}\right) = 216.0^\circ$$

Donde observamos que el ángulo de la envolvente en la polca más pequeña (θ_1) es mayor que 120° , como se recomienda. Más aún según, la relación mínima de tensiones (dinámicas) es siempre mayor que 3.6, como se observa en la figura 2.5 ($\psi = 144^\circ/2 = 72^\circ$ y $\cos(\psi) = 0.3090$).

2.5 Fuerzas en la banda

En un sistema de bandas se tienen dos tensiones, una que está a favor de la generación del par y otra en contra; lo anterior se expresa en la ecuación 2.13:

$$F = T_1 - T_2 \quad (2.13)$$

donde:

F es la fuerza neta producida

T_1 es la fuerza en el lado tenso

T_2 es la fuerza en el lado flojo

El **par máximo** a transmitir es el par máximo que produce el motor. En el apéndice A se muestra un gráfico de par producido por el motor. Tomando una eficiencia del motor del 90%⁶, tenemos:

$$T_{\max} = (0.9)14 \text{ lb ft} = 12.6 \text{ lb ft} = 10.88 \text{ N m} \quad (2.14)$$

De la relación de fuerza-par, para los radios mínimo y máximo de la banda tenemos:

$$T = Fr = F \frac{D}{2} \quad (2.15)$$

$$F_1 = \frac{2T}{D_1} = \frac{2(10.88)}{71.44 \times 10^{-3}} = 304.8 \text{ N} \quad (2.16)$$

$$F_2 = \frac{2T}{D_2} = \frac{2(10.88)}{245.42 \times 10^{-3}} = 88.66 \text{ N}$$

Por lo que vemos que la fuerza crítica se presenta cuando tenemos el diámetro menor. Sustituyendo este valor en la ecuación 2.13:

$$(T_1 - T_2) = 304.8 \text{ N} \quad (2.17)$$

Pero en el peor caso se tiene que (figura 2.5);

$$\frac{T_1}{T_2} = 3.6 \quad (2.18)$$

Combinando ecuaciones 2.17 y 2.18:

⁶ La altura SNM y el desgaste del motor son causas de que el rendimiento disminuya respecto al ciclo teórico.

$$(3.6T_2 - T_2) = 304.8 \text{ N} \quad (2.19)$$

Resolviendo:

$$\rightarrow T_2 = 117.23 \text{ N}$$

$$\rightarrow T_1 = 422.03 \text{ N}$$

Que son las fuerzas críticas en la banda.

La **fuerza de flexión FF** que se origina en el eje de cada polea es por lo tanto:

$$\rightarrow FF = (T_1 + T_2) = 539.26 \text{ N} \quad (2.20)$$

La **fuerza axial** neta transmitida es nula, ya que en cada plato de la polea se produce una fuerza axial de igual magnitud pero de sentido opuesto.

Esta fuerza axial es absorbida en un sentido por la unión solidaria entre el plato opresor y su flecha; mientras que en el otro sentido es absorbida por el resorte (en el caso de la polea conducida) o por el mecanismo de variación (en el caso de la polea conductora).

En la figura 2.6, si se mueve la cuña en la dirección de la fuerza P, se debe vencer la fuerza H, entonces: (Marks, 1995)

$$P = H \tan(3b) \quad (2.21)$$

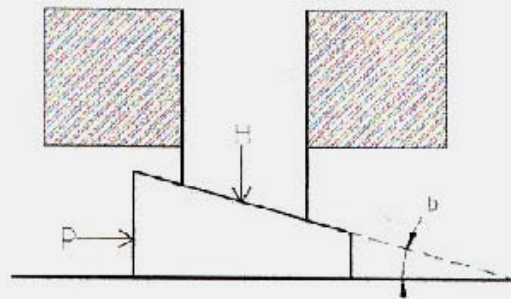


Fig. 2.6 Fuerzas en una cuña ahusada.

En nuestro caso $b=11^\circ$ y P es la fuerza de flexión FF, por lo que:

$$H' = \frac{P}{\tan(3 \cdot 11^\circ)} = \frac{539.26}{\tan(33^\circ)} = 830.39 \text{ N}$$

Dado que el sistema es simétrico, la fuerza P se reparte en dos puntos; reduciendo entonces el valor de la fuerza H a la mitad de su valor original, teniendo entonces:

$$\rightarrow H = 415.19 \text{ N}$$

Que es la fuerza axial ejercida en cada uno de los platos opresores.

**CAPÍTULO 3
POLEAS Y MECANISMO DE VARIACIÓN**

Para poder llevar a cabo el movimiento relativo entre los platos opresores de la banda es preciso contar con un dispositivo que realice tal efecto. Una consideración muy importante que se tomó en cuenta es que no se debe transmitir ninguna carga axial al motor, debido a que no está diseñado para ello.

3.1 Separación entre poleas

La polea conducida mantiene la tensión adecuada de la banda; mientras que la polea conductora realiza en un momento dado la función de embrague. La pregunta es entonces, ¿cuánto debe variar la separación entre los platos de la polea conductora para cada situación?

Esta pregunta se resuelve analizando la geometría de la banda, que como hemos dicho, tiene un ancho máximo de $1 \frac{3}{16}$ pulg., un espesor de $\frac{1}{2}$ pulg. y un ángulo de ranura de 22° .



Fig. 3.1 Geometría de la banda (COMET modelo 300663).

Con base en estos datos se determina que la banda se puede desplazar en el intervalo mostrado en la figura 3.2, donde se han especificado los radios externos requeridos en el recorrido de la banda, correspondientes a 3 y 8 pulgadas de diámetro.

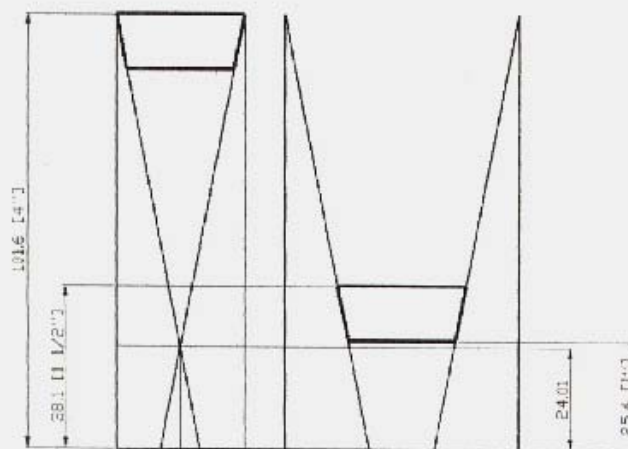


Fig. 3.2 Ubicación de la banda en la polea.

De la figura podemos observar que se emplea de forma adecuada el intervalo de acción, ya que de ser una banda más estrecha no se podría dar la variación propuesta; mientras que si fuera más ancha, quedaría sobrada.

El espesor de plato "ep" se puede determinar mediante la relación trigonométrica:

$$cp = (101.6 - 24.01) \tan 11^\circ = 15.08 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Veamos las distancias lineales correspondientes a cada caso (figura 3.3).

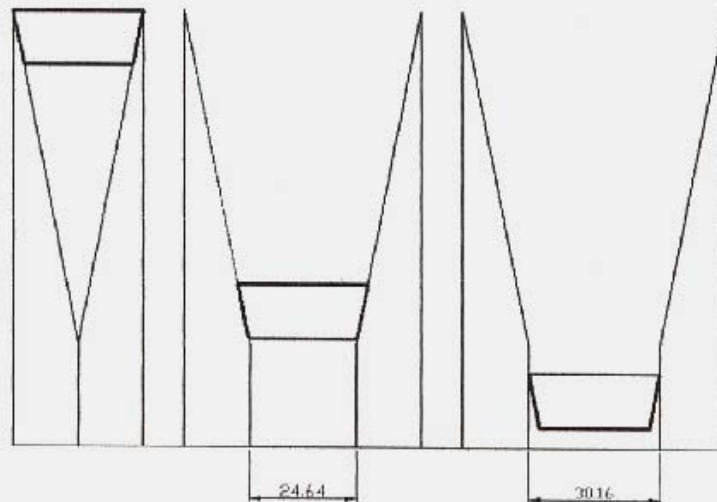


Fig. 3.3 Distancias lineales máximas requeridas en la polea.

Se tiene entonces que para lograr el mayor diámetro se requiere tener unidos ambos platos; para tener un diámetro exterior de 3pulg. se requiere de una separación de 24.64mm y para perder por completo la tracción necesita haber al menos 30.16mm de separación. La apertura máxima se ha tomado de 30mm ya que con el asentamiento de la banda se reduce su ancho efectivo.

3.1.2 Caso de las relaciones de transmisión predefinidas

Para calcular los diámetros en las poleas en función de la relación de transmisión se ha elaborado un programa en Matlab que aproxima estos valores con el método de bisección. Es imperativo hacer una aproximación dado que no es posible despejar los valores de los diámetros de las ecuaciones 2.4 o 2.5. Se ha elaborado un programa para determinar los diámetros requeridos para las relaciones de transmisión mostradas en la tabla 1.1 y arroja los siguientes valores (véase el apéndice D):

REL =	3.4100	2.4600	1.7700	1.2800	0.9200	0.7000	0.5700
D2 =	245.1263	229.9677	210.3865	186.9708	159.9828	136.7246	119.5854
D1 =	71.8845	93.4828	118.8624	146.0709	173.8944	195.3209	209.7989

Como es de esperarse, el comportamiento del sistema es no lineal, como se muestra en la figura 3.4, donde se ha graficado la relación de transmisión en el sistema de bandas contra el diámetro de la polea conductora.

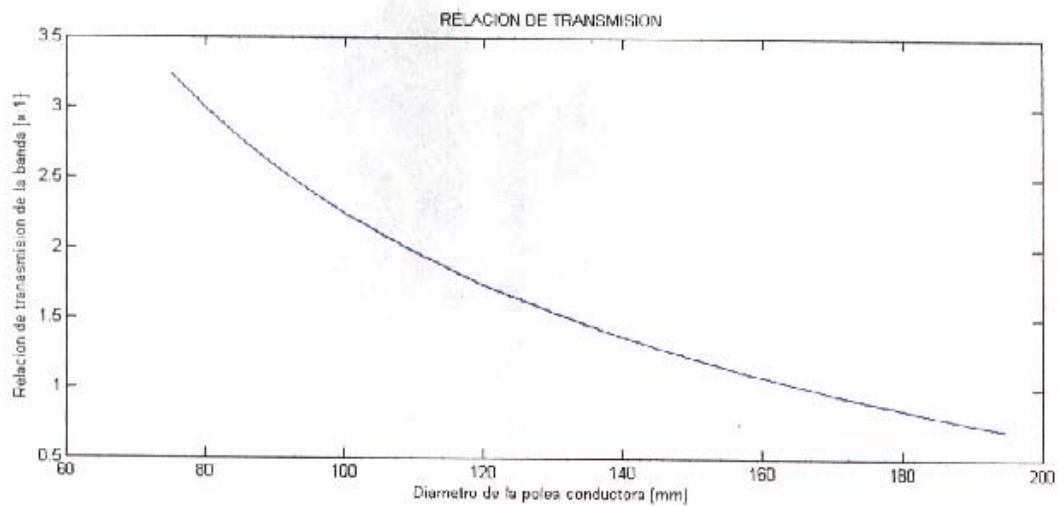


Fig. 3.4 Diámetro de la polea conductora Vs. Relación de transmisión.

3.2 Mecanismo

Una opción adecuada que se encontró para generar el movimiento lineal a partir de un motor rotativo fue el mecanismo de horquilla, impulsada por un tornillo de potencia. Esta solución permite generar movimiento lineal con una ventaja mecánica elevada.

Un esquema del mecanismo a utilizar se muestra en las figuras 3.5 y 3.6 y se detalla en los planos del apéndice I. En estos gráficos se aprecian algunos componentes como las poleas, la horquilla de accionamiento, el tornillo sin fin y los rodamientos.



Fig. 3.5 Vista en perspectiva del mecanismo.

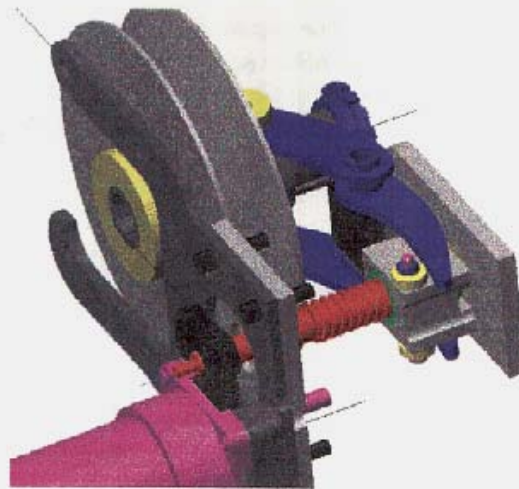


Fig. 3.6 Vista inferior en perspectiva del mecanismo.

En la figura 3.5 se ha omitido una parte de la torreta de sujeción a fin de apreciar la ubicación de la tuerca de potencia y el detalle del recorrido de la horquilla en la parte interna del mecanismo. También se observa la placa con la que se monta al motor, el motor eléctrico y los engranes de reducción.

3.2.1 Desalineación

Una consideración importante es que el mecanismo debe permanecer lo más alineado posible para que la banda de transmisión no se flexione de manera inadecuada; ya que de hacerlo acortaría su vida útil por efectos de desgaste y tensiones no uniformes en sus cuerdas. Además, cuando se fuerza un elemento a seguir una trayectoria no natural se requiere de potencia mecánica; misma que se traduce como pérdidas en el sistema.

Por estos motivos se propuso que el mecanismo minimice esta desalineación. Una forma práctica de atacar este problema es hacer que ambas poleas trabajen “encontradas”; es decir, que los desplazamientos relativos entre los platos opresores se realicen en una sola dirección.

No es posible cancelar por completo el efecto de desalineación debido a la no linealidad en el comportamiento de la relación de diámetros en las poleas (figura 3.4).

3.2.2 Materiales

La estructura del mecanismo tiene que ser lo suficientemente rígida para evitar flexiones que se pudieran traducir en un error significativo en la relación de transmisión; sin embargo, la robustez de esta estructura principal puede traducirse en un peso elevado. La opción más viable encontrada es el empleo de aluminio en la mayor parte de las piezas propuestas. La solera comercial de aluminio se encuentra en diversas medidas con especificación 6063-T5 (60 HBN, $s_u=186\text{MPa}$, $s_y=145\text{MPa}$).

Para la flecha que contiene la cuerda se propone un acero SAE-1045 (250 HBN, $s_u=637\text{MPa}$, $s_y=529\text{MPa}$) que da buenas características de dureza y maquinabilidad. Para la tuerca se propone bronce prelubricado, el cual presenta gran resistencia y dureza, además de tener buenas características de maquinado y baja fricción al operar.

La horquilla se somete a cargas elevadas, por lo que se ha propuesto de solera acero SAE-1018 (180 HBN, $s_u= 539\text{MPa}$, $s_y= 372\text{MPa}$) de $\frac{1}{4}$ pulg. La unión de estos elementos se realiza a través de un pequeño eje, el cual va soldado. El SAE-1018 tiene buenas características de soldabilidad, por lo que no se tiene inconveniente al proponer al eje de este mismo material.

3.2.3 Análisis de esfuerzos

Los elementos más obvios que están sujetos a falla son por supuesto las horquillas y la torreta de sujeción. Se ha modelado en Visual Nastran el comportamiento de estos elementos cuando se les somete a cargas, los resultados del análisis de esfuerzos (esfuerzo de Von Misses) se muestran en las figuras.

En el caso de la torreta de sujeción se ha restringido en su base y se ha aplicado una carga de 1kN en la sección de apoyo de la horquilla. Se comprueba que se trabaja en el límite elástico, ya que no excede su límite de elasticidad (145 MPa) al presentar un esfuerzo máximo de 53.4 MPa.

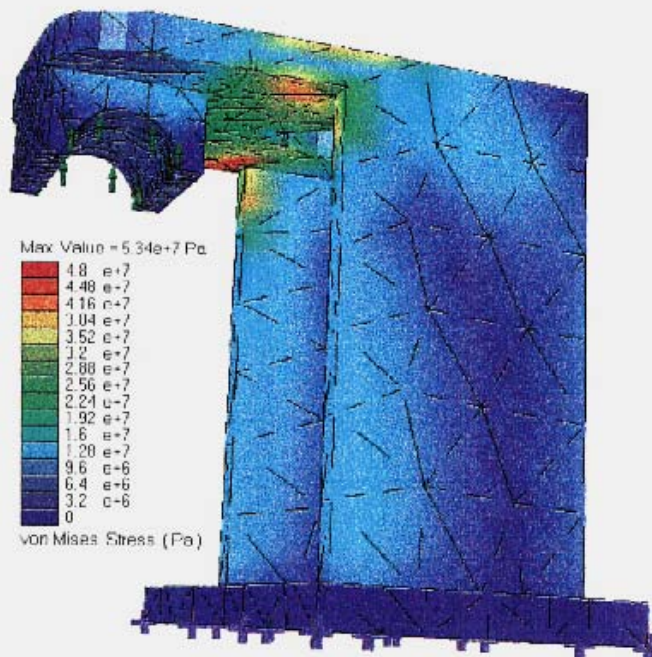


Fig. 3.7 Análisis de esfuerzos para la torreta.

Para la horquilla se ha indicado una carga en los extremos de 500 N^1 y una restricción de movimiento en el eje intermedio. Un análisis en el software revela que el valor máximo del esfuerzo en la pieza es de apenas 31.6 MPa, por lo que no excede su límite elástico de 372 MPa.

¹ Esta es la fuerza de reacción debida al resorte de la polea conducida.

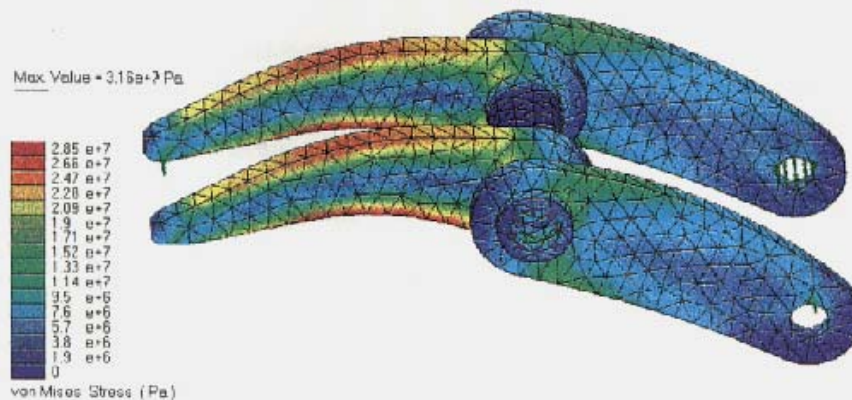


Fig. 3.8 Análisis de esfuerzos para la horquilla.

3.2.4 Rodamientos

En el extremo de la flecha, del lado de la polea es necesario acoplar un rodamiento, ya que dicha polea se encuentra girando. La elección de un **rodamiento de bolas de contacto angular** resulta ideal (50x90x90) al permitir cargas de hasta 29 kN y velocidades de 6000 rpm. En el extremo opuesto de la flecha se ejerce la fuerza directamente sobre la polea mediante un par de rodamientos de bolas (10x30x9) que se acoplan a la horquilla mediante un tornillo y tuerca de seguridad.

En el eje roscado se emplean dos tipos de rodamientos. El primero da soporte a la flecha y permite que gire libremente, se han elegido rodamientos de bolas (12x28x8). El otro rodamiento es para dar apoyo axial al eje de potencia, por lo que se ha elegido un rodamiento cónico (17x40x12) capaz de soportar cargas axiales de hasta 15 kN.²

3.3 Poleas, materiales y restricciones

El material para la construcción de las poleas es aluminio 6061-T6, el cual tiene buenas propiedades de dureza y esfuerzos (95 HBN, $s_u=310\text{MPa}$, $s_y=276\text{MPa}$). Este material se consigue en barras redondas de 8 pulgadas o en placa de distintos calibres (sobre pedido).

Para la flecha y la corredera, que son los ejes de las poleas fija y móvil, respectivamente; se eligió un material duro con propiedades de baja corrosión, ya que estará expuesto a la intemperie. La selección corresponde a un acero SAE-4140 (240 HBN, $s_u=686\text{MPa}$, $s_y=588\text{MPa}$).

En el eje de la polea conductora no se puede tener el estriado corrido debido a la acción de embrague de la banda; si se dejara, la banda se deslizaría sobre las estrias, desgarrando su parte interna.

3.4 Tornillos de potencia

Las roscas estándar (roscas a 60°) no son lo bastante resistentes para todas las aplicaciones de tornillo; para transformar movimiento rotatorio en movimiento lineal se han desarrollado tornillos de potencia de diferentes perfiles, en donde las roscas Acme son las más ampliamente utilizadas.

² Recuerde que las fuerzas axiales se deben anular en el mecanismo para no transmitir las al motor.

3.4.1 Selección de la rosca

Dadas las consideraciones de eficiencia y número de hilos por pulgada, se ha seleccionado una rosca Acme de diámetro nominal de $\frac{7}{8}$ pulg. de 5 hilos por pulgada. Con esta selección se cuenta con un desplazamiento de 5.08 mm por vuelta, con lo que los 30 mm de desplazamiento axial entre las poleas se realizan con 5.91 vueltas.

3.4.2 Eficiencia del tornillo (Norton, 1999)

La eficiencia de cualquier sistema se define como *trabajo de entrada/trabajo de salida*, para el caso de una rosca Acme se tiene:

$$e = \frac{\cos \alpha - \mu \tan \lambda}{\cos \alpha + \mu \cot \lambda} \quad (3.2)$$

donde:

λ es el ángulo de avance

α es el ángulo radial de la rosca

$\alpha = 14.5^\circ$ para roscas Acme, mientras que λ se determina haciendo el análisis del plano inclinado resultante de desenvolver un revolución de la hélice, por lo que:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p} \quad (3.3)$$

donde d_p es el diámetro de paso de la rosca.

Los experimentos nos indican que el coeficiente de fricción de una combinación rosca-tuerca lubricadas con aceite es de alrededor de 0.15 ± 0.05 . La fricción de un cojinete simple (no giratorio) es casi la misma que la de las roscas. (Norton, 1999)

Podemos ahora calcular la eficiencia. En nuestro caso $d_p = (\frac{7}{8} - 0.2) * 25.4 = 17.145 \text{ mm}$ y $L = 0.2 * 25.4 \text{ mm}$, entonces $\lambda = 5.3879^\circ$. Tomando $\mu = 0.15$ la eficiencia es entonces:

$$\rightarrow e = 0.3729$$

Donde se observa que es un valor bajo para un mecanismo, pero alto comparado con los tornillos Acme estándar (un tornillo estándar de $\frac{7}{8}$ es de 6 hilos por pulgada).

3.4.3 Autobloqueo

El autobloqueo se refiere a una situación en la cual el tornillo no podrá ser girado por la aplicación de cualquier magnitud de fuerza que se aplique axialmente. Un tornillo se auto bloqueará si (Norton, 1999):

$$\mu \geq \tan \lambda \cos \alpha \quad (3.4)$$

Para nuestro caso $\tan(5.38^\circ) \cos(14.5^\circ) = 0.0244$, por lo que el tornillo se auto bloqueará, reduciendo así el consumo de energía del motor del mecanismo en los casos donde se requiera una relación de transmisión fija.³

³ Debido a la vibración a la que está sometido el sistema, es probable que en la práctica se produzca un ligero deslizamiento.

CAPÍTULO 4 CONTROL Y CONTROLADOR

El objetivo de implementar un modo de operación variable en el auto es aprovechar al máximo las diferentes características de operación que puede brindar el conjunto motor-transmisión, según las necesidades de cada prueba durante las competencias de Mini Baja.

Como hemos visto, los motores de combustión interna tienen una velocidad en la cual el par generado es máximo, por lo regular a velocidades debajo de las rpm tope del motor. Si mantenemos esa velocidad y variamos la relación de transmisión de *forma adecuada*, se obtendrá una aceleración máxima en el vehículo. Un *control* brinda la posibilidad de establecer cuál es esa forma adecuada. Además del modo de operación automático se presenta una opción manual, la cual brinda algunas ventajas en la conducción.

Para determinar mejor el desempeño del auto en pista se incorpora una etapa de visualización, mediante la cual se presentan de forma apropiada algunos parámetros del sistema como la velocidad del auto, la velocidad del motor y la relación de transmisión en curso (en el caso de modo manual).

4.1 Modos de operación del sistema

Inherentemente a la forma en que se da el cambio en la relación de transmisión en un sistema de bandas, se tienen un número infinito de posibles combinaciones; sin embargo, se pueden predefinir un cierto número N de relaciones para forzar al sistema a que opere en una de ellas. Se obtienen ventajas de este modo de operación al permitir frenado dinámico (freno de motor), conducción manual para situaciones especiales y ahorro de combustible en etapas de baja demanda. Estas condiciones son más útiles cuando se pueden cambiar de forma dinámica, mientras el auto se va desplazando.

Se han previsto dos modos básicos de operación: manual y automático; los cuales se podrán seleccionar mediante un interruptor denominado *modo de operación "MO"*. A su vez, en el modo automático se han definido dos formas de operación: motor a plena carga y a carga moderada (figura 4.1).

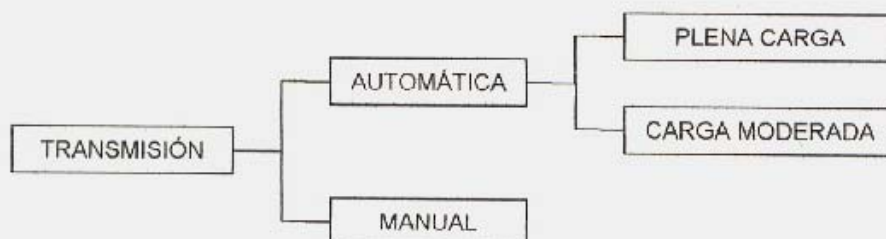


Fig. 4.1 Modos de operación del sistema.

El primer caso se tiene cuando se demanda la máxima carga del motor (acelerador a fondo) y es aquí cuando el sistema obliga a modificar la velocidad de entrada (rpm del motor) mediante una carga variable; es decir, variando la relación de transmisión. La condición de acelerador a fondo se detecta mediante un *sensor de posición de acelerador (SPA)*.

El segundo caso corresponde a una carga moderada y se presenta cuando no se esté con el acelerador a fondo. Aquí la relación de transmisión se ajustará a una de las 7 velocidades predeterminadas, según la velocidad del vehículo y de acuerdo a la gráfica de cambios de velocidad (figura 1.6), donde se optará por la relación menor, ya que en ésta se obtiene un mayor confort y un menor consumo de combustible.

En el modo manual, el piloto del vehículo realiza los cambios de velocidad a su conveniencia, haciendo uso de las 7 relaciones predeterminadas hacia el frente y neutral. Los cambios se realizan de manera secuencial con botones denominados *cambio manual ascendente/descendente (CMA/CMD)*.

4.2 Diagramas de flujo

Dado que para la medición de la frecuencia se requiere de un tiempo de conteo, la opción más simple es contar con un dispositivo dedicado para la realización de esta tarea (μC secundario). Como es muy simple esta función, se ha decidido incluir en este dispositivo la conversión de los valores de frecuencia a otro tipo de representación como lo es velocidad del auto en km/h y velocidad del motor en rpm. Para el caso del tacómetro se realiza un preprocesamiento para activar los LEDs en forma adecuada.

Una vez teniendo estos parámetros es posible pasarlos en forma directa al μC primario y al sistema de despliegue de velocidad del auto. La secuencia de operaciones del controlador secundario se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

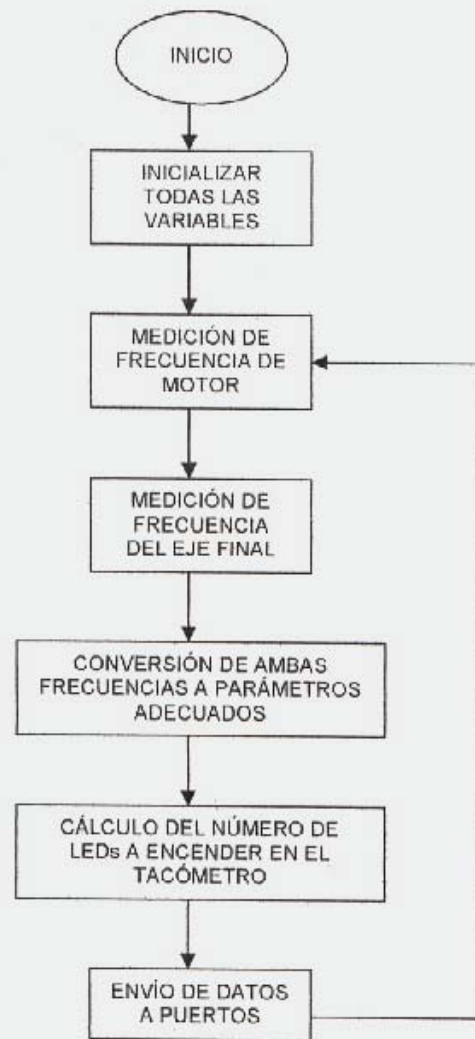


Fig. 4.2 Diagrama de flujo del controlador secundario.

Para el controlador primario, la secuencia de operaciones es la siguiente:

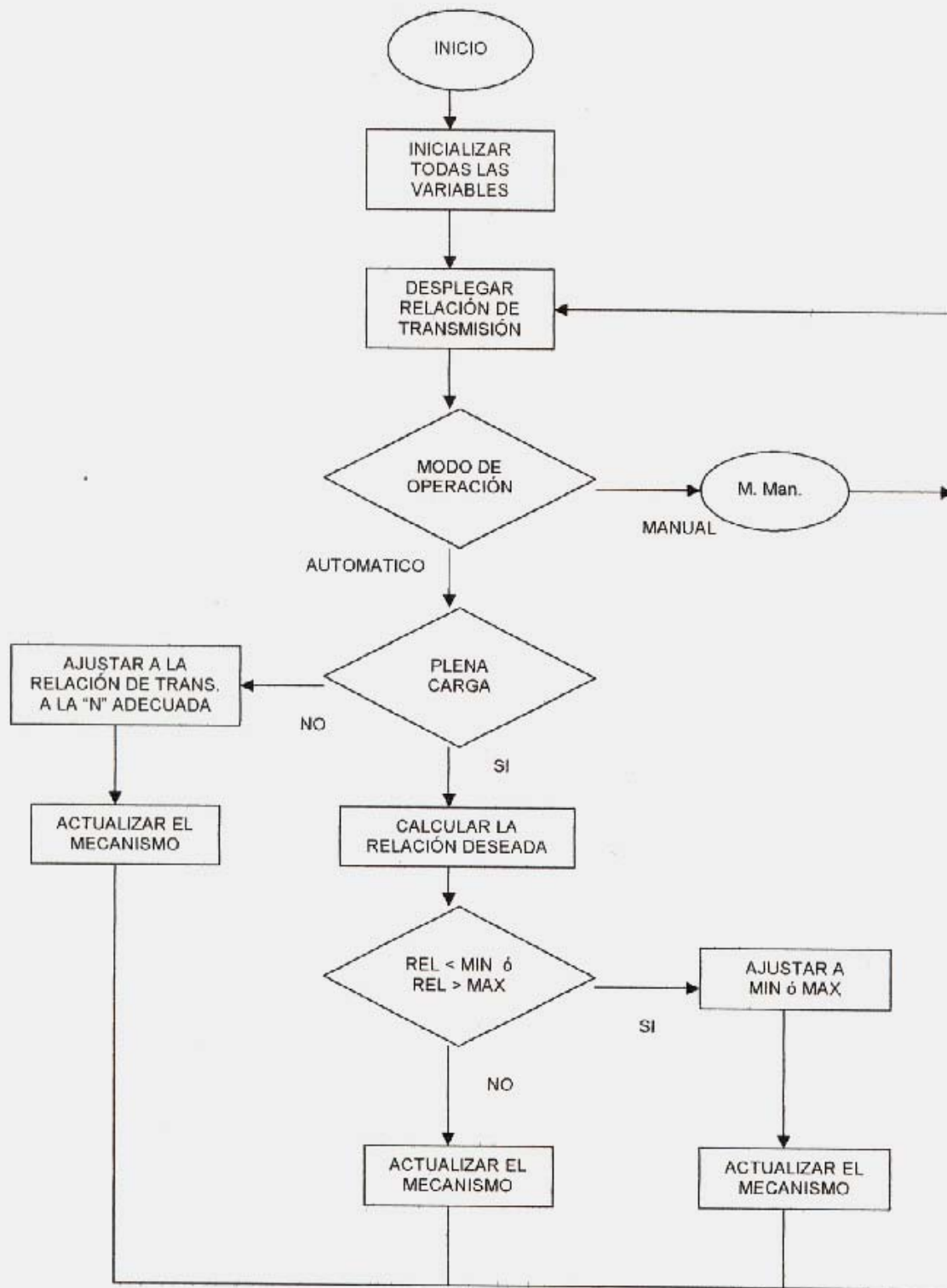
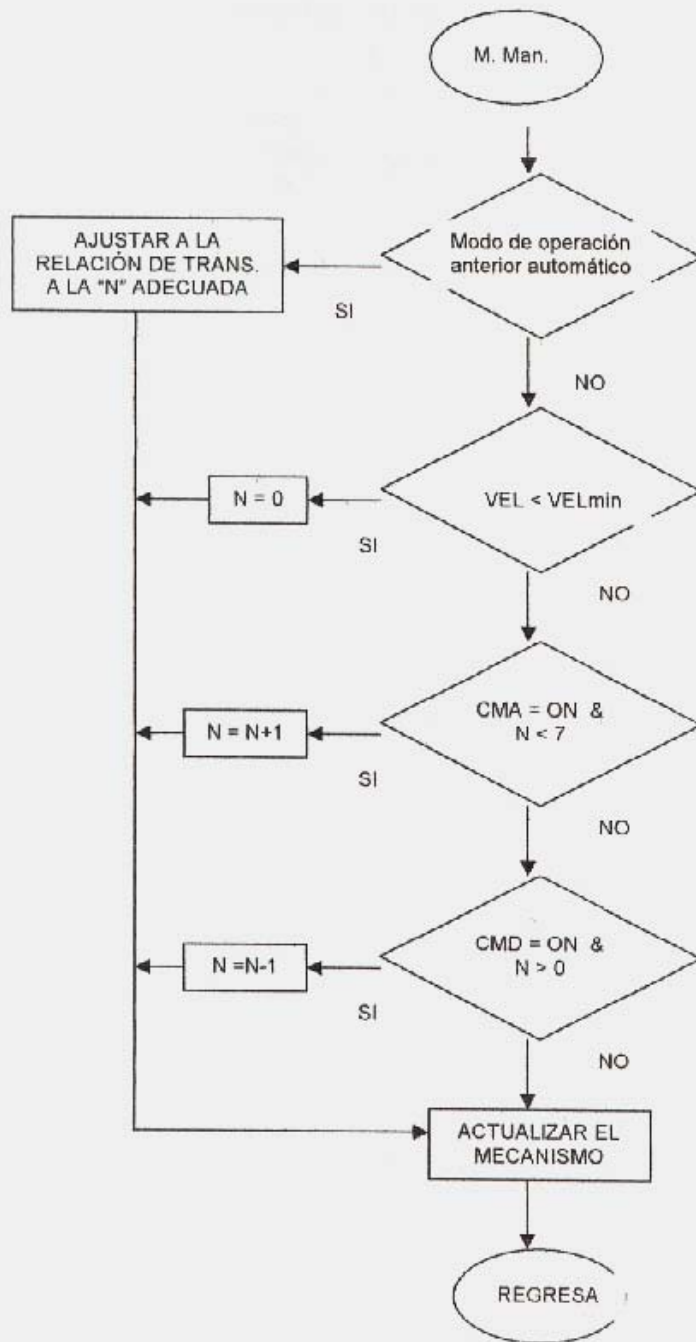


Fig. 4.3 Diagrama de flujo para el controlador primario.



(Fig. 4.3) (...continuación)

4.3 Diagrama a bloques del sistema

El esquema general del sistema de control se muestra en un diagrama a bloques en la figura 4.4.

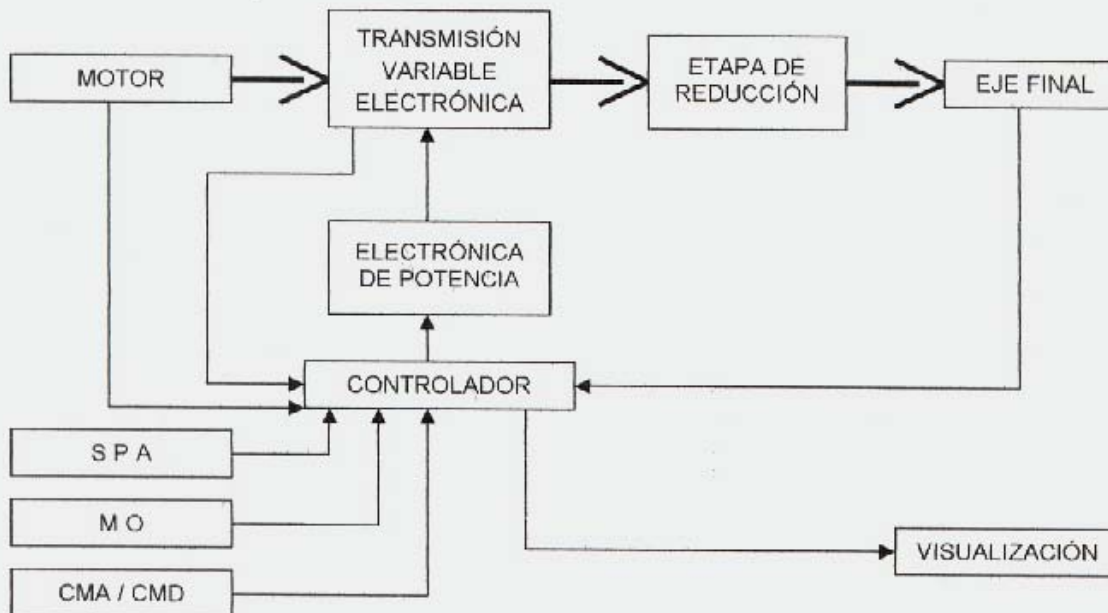


Fig. 4.4 Diagrama a bloques del sistema.

4.4 Ley de control

Un controlador en lazo cerrado compara el valor real de salida de una planta con la entrada de referencia (valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador produce la señal se denomina *ley o acción de control*.

En la acción de control proporcional la respuesta del sistema es proporcional a la señal de error producida. En el control proporcional de una planta hay un error en estado estable (desplazamiento u *offset*) en la respuesta para una entrada escalón. Tal *offset* se elimina si se incluye la acción de control integral en el controlador.

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, aporta un medio para obtener un controlador de alta sensibilidad. Una característica del uso de esta acción de control es que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa se denomina acción de control proporcional-integral-derivativa (PID). Esta acción de control combinada tiene las ventajas de cada una de las acciones de control individuales.

La acción de control PID se define mediante (OGATA,1997):

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.1)$$

Cuya función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (4.2)$$

donde:

K_p es la ganancia proporcional

T_i se denomina tiempo integral

T_d se denomina tiempo derivativo

Tanto K_p como T_i y T_d son ajustables. El tiempo integral ajusta la acción de control integral, el tiempo derivativo ajusta la acción de control derivativo; mientras que un cambio en el valor de K_p afecta las tres partes de la acción de control. El inverso del tiempo integral T_i se denomina *velocidad de reajuste*. La velocidad de reajuste es la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control. La velocidad de reajuste se mide en términos de las repeticiones por minuto.

La acción de control empleada es entonces una PID, cuyo algoritmo debe ser programado en el controlador.

4.5 Controlador

Se ha propuesto emplear un microcontrolador debido a su capacidad de programación, en contraste con sistemas analógicos; además de la compatibilidad (digital) con algunos medios de visualización como displays multisegmentos o LCDs.

Como se ha planteado en el diagrama de flujo, se requieren de dos dispositivos que estén trabajando en paralelo, debido a la naturaleza de las acciones que ejecutan. El μC secundario tiene como función principal la medición de la frecuencia de operación del motor y del eje secundario de la polea variable para que los datos estén disponibles para la etapa de visualización y para el μC primario.

El μC primario toma estos datos y con base en las otras señales de entrada hace el cálculo de la relación de transmisión necesaria para el sistema.

El uso de el PIC 16F877 resulta ideal para ambos casos al contar con 5 puertos de E/S y convertidores A/D; además de su fácil programación haciendo uso de lenguajes de alto nivel como *Pic Basic Pro*.

**CAPÍTULO 5
ELECTRÓNICA**

El desarrollo de la parte electrónica se hace teniendo fuertes consideraciones con el microcontrolador a emplear y la etapa de visualización. En el presente capítulo se analizan estas consideraciones y en el apéndice I se encuentran los planos electrónicos completos.

5.1 Adquisición de datos

Como se muestra en la figura 4.4 hay múltiples entradas que el sistema debe estar monitoreando para determinar las acciones de control correspondientes. A continuación se describe cada una de ellas con su correspondiente acondicionamiento de señal.

5.1.1 Sensor de Modo de Operación (MO)

Su función es determinar si se desea la operación del sistema en modo manual o automático. Este doble estado se puede determinar con un interruptor de 1 polo 2 tiros (interruptor común) para tener así una señal de entrada de 0 o 1 lógicos. En la figura 5.1 se muestra una aplicación en donde se puede observar la conexión básica de un interruptor para la terminal RA0.

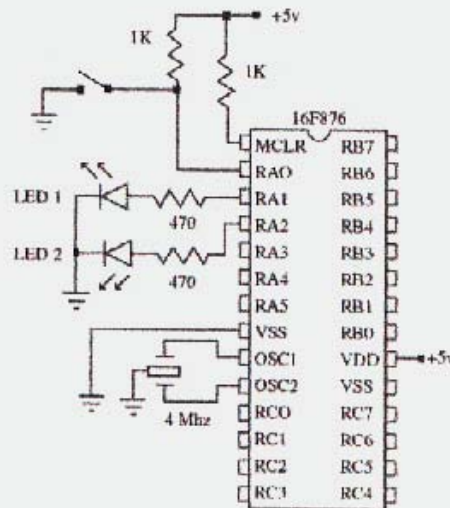


Fig. 5.1 Conexión básica de un interruptor.

NOTA: Esta es la misma configuración que se emplea en las conexiones de *limit switch* y *push button*.

Su tabla de verdad se muestra a continuación.

ESTADO	CONDICIÓN
0	Modo Manual
1	Modo Automático

5.1.2 Sensor de Posición del Acelerador (SPA)

Existen dos posiciones fundamentales de interés para el acelerador; cuando no está accionado y cuando se tiene pisado a fondo. Ambos casos son excluyentes, pero no complementarios, por lo que tienen que ser tratados de manera independiente.

5.1.2.1 Sensor de Operación Sin Carga (SPA1)

Detecta cuando no se oprime el pedal del acelerador. Su implementación es con un *limit switch* y su tabla de verdad se muestra a continuación.

ESTADO	CONDICIÓN
0	El pedal se encuentra oprimido
1	El pedal NO se encuentra oprimido

5.1.2.2 Sensor de Operación a Plena Carga (SPA2)

Detecta cuando se oprime a fondo el pedal del acelerador. Su implementación es con un *limit switch* y su tabla de verdad se muestra a continuación.

ESTADO	CONDICIÓN
0	El pedal se encuentra oprimido a fondo
1	El pedal NO se encuentra oprimido a fondo

5.1.3 Sensores de Cambio Manual (CMA & CMD)

Se cuenta con dos interruptores que indican al microcontrolador que se desea realizar un cambio ascendente o descendente en la relación de transmisión. Se implementan con *push buttons* normalmente abiertos, por lo que en el momento en que se opriman la señal conmutará a 0 lógico.

ESTADO	CONDICIÓN
0	El botón se encuentra oprimido
1	El botón NO se encuentra oprimido

5.1.4 Sensor de Velocidad del Vehículo (SVV)

Para el sensado de la velocidad del vehículo se han estudiado los dispositivos implementados en autos de producción; siendo los sensores inductivos un común denominador. Estos sistemas tienen las ventajas de ser muy robustos, ya que prácticamente no son afectados por polvo, tierra, lodo o calor moderado, además de su posibilidad de operar a grandes frecuencias (kHz). Estas características brindan la posibilidad de colocarlos directamente en las masas de las ruedas en los autos comerciales o inclusive en el *monoblock* del motor.

En nuestro caso es posible acoplar el sensor en el eje de salida de la polea conducida y por medio del microcontrolador hacer el cálculo de la velocidad lineal del auto según la relación de transmisión de la etapa de reducción y el diámetro de la rueda.

Se ha seleccionado un sensor inductivo automotriz (sensor de posición de cigüeñal de salida analógica) con aplicación en vehículos Jetta A3 con conector de 3 terminales (+5V, señal, GND).

Este elemento permite una distancia de sensado de hasta 9 mm¹ y una frecuencia de operación del orden de los kHz.

5.1.5 Sensor de Velocidad del Motor (SVM)

El motor cuenta con un dispositivo de encendido llamado “Magnetron”, que hace las veces de un sistema de bobina y platinos en un auto antiguo típico. Es posible tomar la señal directamente del cable de control del Magnetron; sin embargo, es una señal muy irregular, con mucho ruido y de baja intensidad, lo que implica el diseño de circuitos filtro, amplificadores y comparadores.

Considerando estas desventajas, resulta positivo hacer uso de un sistema similar al de medición de velocidad del auto.

5.1.6 Sensor de posición del mecanismo (SPM)

Se ha optado por determinar la separación entre las poleas a través de la medición del número de vueltas que da la flecha con cuerda Acme; por lo que de un lado de la flecha se le acoplará un potenciómetro multivoltas.

Los potenciómetros de precisión son altamente utilizados en equipos de control y de medición; principalmente por sus características de linealidad y larga vida; además de su fácil acoplamiento, tanto mecánico, como eléctrico. La elección de un **potenciómetro de 10 vueltas** resulta adecuada para la aplicación.

El acoplamiento eléctrico con el microcontrolador se hace mediante un esquema de divisor de voltaje, donde la señal de control trabaja de 0 a 5V y se conecta directamente a la entrada destinada en el PIC. El valor del resistor no es crucial trabajando como divisor de voltaje; sin embargo se recomienda uno de 50k Ω .

5.2 Salida de control

La señal de control se entrega a través de un PWM que sale del microcontrolador en dos líneas (signo y magnitud). Como la señal que entrega el microcontrolador es de tan solo unos cuantos miliamperes, tiene que ser amplificada para poder accionar al motor eléctrico.

5.2.1 Etapa de Potencia

En la etapa de potencia se utiliza un circuito **LMD18200**, que es un Puente H de hasta 3A y 55V. Recibe directamente las señales del microcontrolador (signo y magnitud), ya que su entrada es compatible con TTL y CMOS.

5.3 Visualización

La etapa de visualización se ha propuesto con displays de 7 segmentos, ya que ofrecen buenas características de tamaño e intensidad luminosa, factores decisivos para poder colocarlos en el tablero de instrumentos del auto. Otra ventaja es que se pueden representar caracteres alfanuméricos, por lo que se puede indicar la velocidad en curso (1,2,...) o que el sistema se encuentra en modo automático (A).

¹ Este valor se ha determinado experimentalmente debido a la carencia de información técnica de estos sensores.

Recuerde que se debe colocar una resistencia en todas las terminales de entrada, ya que se trata de LEDs. Se recomienda el uso de resistores de $330\Omega@1/8W$.

5.3.1 Selector de velocidad

La visualización del selector de velocidad se implementa con un display de 7 segmentos. Para aprovechar mejor las salidas del microcontrolador se incorpora una etapa de multiplexión de la señal, con lo que de 4 señales de entrada podemos obtener las 7 señales de salida. Esta tarea además de optimizar el uso de las líneas de salida del microcontrolador, también le resta carga de procesamiento de datos, ya que solo envía un número binario y no la codificación para el display.

Esta tarea de multiplexión se resuelve fácilmente con lógica combinatoria, por lo que se utiliza una GAL para su implementación. La elección corresponde a una GAL 22V10, la cual cuenta con 24 terminales, 2 de alimentación, 22 posibles entradas y 10 posibles salidas.

Comenzamos por hacer un bosquejo de la forma que queremos que enciendan los LED's del display y con esos datos elaboramos la tabla de verdad del multiplexor. Haciendo uso del software "PLD Shell"² se obtienen las ecuaciones reducidas directamente de la tabla de verdad³. Este mismo software genera el archivo JEDEC (*.jed), con el cual se graba la GAL.

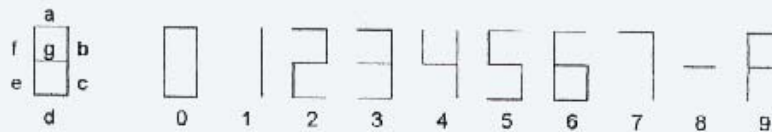


Fig. 5.2 Caracteres del Selector de Velocidad.

La conexión entre el microcontrolador y la GAL se realiza de manera directa a través de un conductor; mientras que entre la GAL y cada LED se tiene que colocar una resistencia de $330\Omega@1/8W$.

5.3.2 Tacómetro

El tacómetro se ha propuesto como una barra de LEDs de diferentes colores que se encienden según el régimen del motor. Esta barra de LEDs puede estar en el tablero de instrumentos o puede colocarse en el volante del auto para permitir una mejor visualización. Las señales de activación provienen directamente del microprocesador secundario. A continuación se describe la forma en la que encenderán tales indicadores:

IDENTIFICADOR	COLOR	INTERVALO DE OPERACIÓN [rpm]
LED1	verde	2800→
LED 2	verde	2800→
LED 3	verde	3000→
LED 4	verde	3200→
LED 5	ámbar	3400→
LED 6	rojo	3600→

Tabla 5.1 Intervalos de operación para el tacómetro.

² Programmable Logic Design Shell V 2.1 ©Intel Corporation.

³ El código del programa utilizado se muestra en el apéndice F.

Se proponen solo estos intervalos para que el piloto no visualice información que no es de su interés, ya que incluirla podría causar confusiones durante la conducción en una carrera.⁴

Este modo de visualización ayuda al piloto a determinar en qué momento se debe efectuar un cambio de velocidad en el modo manual. Según la figura 1.6, en cuanto se enciende el LED rojo es el mejor momento para realizar el cambio de velocidad, dicha condición se anticipa por un LED ámbar para alertar al piloto.

5.3.3 Velocímetro

La velocidad del auto será mostrada en dos displays de 7 segmentos. Considerando que la velocidad máxima propuesta es de 65 km/h, los dos dígitos del medidor son suficientes. Para medir esta velocidad se requieren de 7 bits,⁵ los cuales entrega directamente el μC secundario.

Para utilizar esta información se requiere de una decodificación de la señal, ya que de los 7 bits tenemos que generar las 14 señales correspondientes a los 2 displays.

5.4 Diagrama de conexiones

Un esquema general de conexiones de la etapa de control se muestra a continuación:

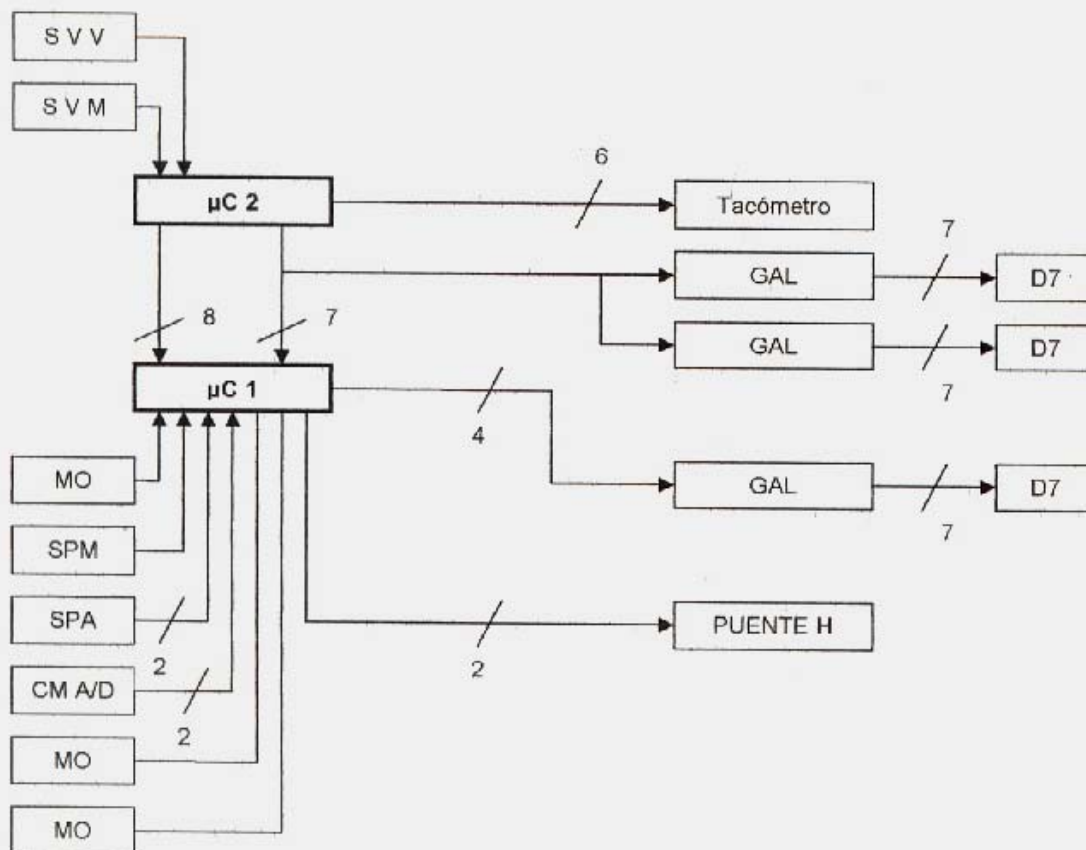


Fig. 5.3 Diagrama a bloques de la electrónica de control.

⁴ Recuerde que el régimen de operación estacionario del motor es a partir de las 2600 rpm

⁵ Observe que $2^8=64$, $2^7=128$

En los planos electrónicos se muestran los esquemáticos de cada una de las tarjetas, tanto del μ C primario como del secundario. Las señales que viajan en el bus de datos que comunica ambos controladores se muestra en la tabla 5.4.

MC PRIMARIO		BUS	MC SECUNDARIO	
IDENTIFICADOR	PIN		PIN	IDENTIFICADOR
RD5	28	1	28	RD5
RD6	29	2	29	RD6
RD4	27	3	27	RD4
RD7	30	4	30	RD7
RD3	22	5	22	RD3
RB0	33	6	33	RB0
RD2	21	7	21	RD2
RB1	34	8	34	RB1
RD1	20	9	20	RD1
RB2	35	10	35	RB2
RD0	19	11	19	RD0
RB3	36	12	36	RB3
RA1	3	13	[11]	SEL0_GAL1
RB4	37	14	37	RB4
RA2	4	15	[10]	SEL1_GAL1
RB5	38	16	38	RB5
RA3	5	17	[9]	SEL2_GAL1
RB6	39	18	39	RB6
RA5	7	19	[8]	SEL3_GAL1
RB7	40	20	40	RB7

Tabla 5.2 Identificador de señales en del bus de datos.

En las tablas 5.2 y 5.3 se indican las señales que viajan a través de los conectores de los microcontroladores, de lado izquierdo, y del lado derecho las de las tarjetas de conexión (la designación CX es por *conexión*).

Para realizar las conexiones entre los microcontroladores y sus señales de entrada se ha optado por incluir dos tarjetas de conexión adicionales, las cuales facilitan la remoción del conjunto del motor de combustión o el volante de cambios, según sea el caso. Adicionalmente, estas tarjetas cuentan con un acondicionamiento de señal para las señales de los interruptores y de los sensores (en caso de cambiar de tipo de sensor solo se modifica esta pequeña tarjeta).

CX - FRONTAL		CX - FRONTAL - Repartidor	
PIN	IDENTIFICADOR	PIN	IDENTIFICADOR
1	GND	1	GND
2	MO	2	MO
3	RO	3	RO
4	CMA	4	CMA
5	CMD	5	CMD
6	BRAKE	6	BRAKE

Tabla 5.3 Identificador de señales en controlador y tarjeta frontal.

CX - TRASERA		CX - TRASERA - DB9	
PIN	IDENTIFICADOR	PIN	IDENTIFICADOR
1	SPA 2	1	SPA 2
2	SPA 1	2	SPA 1
3	SPM	3	SPM
4	5 V	4	5 V
5	GND	5	GND
CX - S. VELOCIDAD		6	5 V
PIN	IDENTIFICADOR	7	GND
1	SVM	8	5 V
2	GND	9	GND
3	SVV		

Tabla 5.4 Identificador de señales en controladores y tarjeta trasera.

5.5 Motor eléctrico

La característica más importante en la elección de un motor es su potencia. Otros parámetros que se tienen que tomar en cuenta son tipo de alimentación, voltaje nominal, corriente nominal, velocidad de salida y otros. Utilizaremos como fuente de energía baterías secas de 12 V, por lo que el primer parámetro de selección del motor eléctrico será su potencia.

Como se analizó en la sección 2.5, la fuerza que debe vencer el mecanismo es la reacción del resorte de la polea conducida, teniendo un valor máximo de $500N^6$. La velocidad a la cual se quiere que actúe el mecanismo es la que corresponda a un cierre total en 4 s, con lo que se tiene una velocidad lineal de:

$$v_l = \frac{30mm}{4s} = 7.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \tag{4.3}$$

De la ecuación 1.1 encontramos la potencia requerida para vencer la fuerza del resorte:

$$P_R = F_R v_l = (500N) \left(7.5 \times 10^{-3} \frac{m}{s} \right) = 3.750W \tag{4.4}$$

Pero el tornillo con rosca Acme tiene una eficiencia “e” de 37%, por lo que:

$$P_M = \frac{P_R}{e} = \frac{3.75W}{0.37} = 10.14W \tag{4.5}$$

donde

P_M es la potencia requerida por el motor eléctrico.

Dado que la tensión de alimentación del motor es de 12V, tenemos el consumo en corriente:

$$I_M = \frac{P_M}{V} = \frac{11.03W}{12V} = 0.84A \tag{4.6}$$

⁶ Se ha considerado ligeramente mayor como factor de seguridad

donde

I_M es la corriente de consumo del motor.

V es el voltaje de alimentación del motor.

Se observa que el consumo en corriente del motor es menor de 1 A, por lo que el puente H propuesto (LMD18200) soporta las condiciones de operación.

Para el cálculo de la velocidad requerida en la flecha se emplean los datos del número de vueltas necesarias para el desplazamiento axial del mecanismo (sección 3.4.2) y el tiempo de recorrido; así:

$$\eta = \frac{5.91 \text{ revoluciones}}{4s} = 88.65 \text{ rpm} \quad (4.7)$$

Por lo que un motor de 12 V a 1 A con velocidad de la flecha de 90 rpm es adecuado para la operación del sistema.

5.6 Consumo eléctrico y baterías

El elemento principal de consumo de energía es por supuesto el motor eléctrico, que como hemos visto demanda 1 A en operación continua. Los elementos de visualización también consumen una parte significativa de la energía del sistema. A continuación presentamos una tabla de valores aproximados de consumo, expresada en miliamperes.

Cantidad	Descripción	Consumo unitario [mA]	Consumo total [mA]
1	Motor eléctrico	1000	1000
3	Display 7 segmentos	105	315
12	LED's (tacómetro)	15	180
2	Sensor inductivo	10	20
2	PIC 16F877	60	120
3	GAL 22V10	20	60
			1695

Tabla 5.5 Consumo de energía del sistema.

Este cálculo ha sido realizado considerando que los elementos están trabajando en un estado de máxima demanda de energía; por lo que el consumo promedio se espera que sea menor al que aquí se muestra.

Como se dijo con anterioridad, las baterías propuestas son de 12 V del tipo seco, por lo que solo se determinará el número de elementos necesarios para operar durante una competencia típica de 4 horas.

Las baterías de este tipo más comerciales tienen una capacidad de almacenamiento de 7 A/h; suponiendo un rendimiento pesimista del 70%, obtendríamos alrededor de 5 A/h de almacenamiento.

Proponemos una tabla de rendimientos para 1 y 2 baterías según la demanda de corriente y el tiempo de uso.

Consumo [A]	Tiempo útil [hr]	
	1 Bateria	2 Baterías
10	0.5	1
5	1	2
2	2.5	5
1.75	2.9	5.7
1.5	3.3	6.7
1.25	4	8
1	5	10
0.5	10	20

Tabla 5.6 Tiempo de rendimiento de energía.

Por lo que se recomienda hacer uso de 2 baterías de tipo seco de 7 A/h a 12 V conectadas en paralelo.

CAPÍTULO 6 CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA

En el presente capítulo se describe el modo en el que se realizó la manufactura de las partes que componen el prototipo, tanto en la parte mecánica, como en la parte electrónica y de programación.

Es oportuno señalar que debido a la naturaleza del proyecto, se buscó que todas las partes fueran de fácil manufactura y además, realizables con el equipo con el que cuenta actualmente UPIITA, no siendo esto un factor que limitara drásticamente el diseño óptimo del prototipo.

6.1 Implementación del software

Para la programación de los PICs se ha empleado el software *PIC Basic Pro*, que es un compilador de alto nivel. El código de los programas se ha realizado con base en los diagramas de flujo presentados en el capítulo 4 (Fig. 4.4 y 4.5) y el código de los programas finales se presenta en el apéndice E.

El uso de esta herramienta ha ahorrado mucho tiempo, ya que su estructura es muy similar a la del compilador de *Borland C*, misma a la que estamos altamente familiarizados, evitándonos de esta forma el desarrollo del código en ensamblador; que si bien es más ortodoxo, no tenemos que inventar el hilo negro.

La programación de los PICs se ha efectuado con un programador PSP-02, herramienta muy común en el mercado por su versatilidad, bajo costo y de fácil operación. El software con el que opera es el *icprog*, de uso libre y que se puede encontrar en Internet.

Debido a las características de memoria de los microcontroladores, su programación y verificación tarda alrededor de 3min., ya que se tienen que grabar 8192 words de memoria disponible. Una consideración oportuna sería adquirir el PIC16F874 de memoria reducida (4096words) ya que en el código del programa grande ($\mu C1$) se emplean apenas alrededor de 1200 words. Con esto se disminuye el tiempo de programación, que es crítico en el momento de estar realizando las pruebas de calibración de los componentes; sin embargo, este PIC de características reducidas es 15% más caro que el que actual.

En el momento de la implementación en el auto se tuvieron que realizar una serie de pruebas para ajustar el funcionamiento del mecanismo en conjunto. Las principales modificaciones que se tuvieron que realizar fue a la ganancia del controlador, ya que la operación presentaba una respuesta un tanto lenta, pero una ganancia excesiva se reflejaba en la inestabilidad del sistema, por lo que el ajuste de los niveles de ganancia se realizó mediante métodos experimentales.

6.2 Elaboración de los circuitos electrónicos

El diseño esquemático de los circuitos electrónicos ha sido realizado en *Eagle*, un software de desarrollo electrónico que ha mostrado tener grandes beneficios al contar con una librería muy extensa de componentes. Aunque tiene una sección para generar el PCB¹ a partir del diseño esquemático, se ha optado por usar otro software para este propósito. El uso de *Protel* ha

¹ PCB - Printed Circuit Board.

demostrado que es una herramienta muy eficaz en este campo y por ello se ha empleado para el desarrollo de los PCBs.

La elaboración física de las tarjetas electrónicas se realizó con serigrafía, se optó por el diseño de las placas en una sola cara por la facilidad en la manufactura. Cabe señalar que las dimensiones de las placas corresponden a las de una caja de plástico de las usadas en conexiones eléctricas industriales a la intemperie, esto con el fin de que se puedan introducir los circuitos en ella y evitar que entre agua y partículas de polvo a la etapa de control. Esta caja tiene sellos herméticos y puede ser reemplazada por una caja con cubierta traslúcida para fines de visualización de instrumentos.

Las tarjetas se han pintado de un color negro mate para permitir una mejor visualización al disminuir los reflejos; sin embargo, ha quedado de manifiesto que en condiciones de mucha luz, esto no es suficiente, por lo que se tendrían que cambiar los displays de 1 pulgada por unos de al menos 3 pulgadas para lograr una visualización eficiente. El diseño es probable que se viera modificado debido a la demanda en corriente de estos dispositivos.

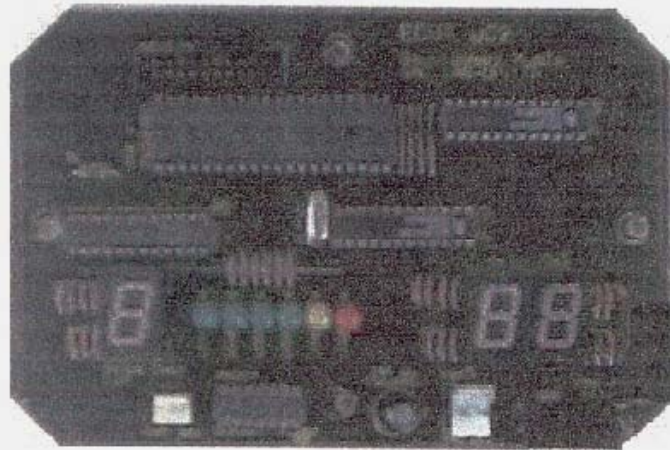


Fig. 6.1 Vista superior de la tarjeta de visualización.

En las tarjetas electrónicas se ha procurado colocar conectores de distintos tipos para evitar las conexiones incorrectas, de tal manera que cada conector tiene su posición. Los cables que van hacia el tablero de instrumentos y la parte posterior del auto tienen conectores completos, es decir, no se tienen que soldar y/o encintar los cables para remover el mecanismo o la caja de control. Esto puede ahorrar mucho tiempo en algún imprevisto en el desarrollo de una carrera y durante la puesta a punto del auto.

Dado que la visualización se puede ver limitada en una carrera por las condiciones de lodo extremo, podría ser conveniente reubicar la etapa de control-visualización en un lugar más seguro durante el desarrollo de las competencias.

6.3 Manufactura mecánica

La manufactura de los elementos mecánicos es la etapa de más consumo de tiempo en la fase de construcción del prototipo. Se ha señalado que se procuró realizar todos los maquinados dentro de

UPIITA, solo fue necesario realizar soldadura en aluminio fuera de las instalaciones, problema fácilmente resuelto con ayuda de un taller especializado en soldadura (Grupo López Franco).

En cuanto a las poleas se decidió comprar placa de aluminio de 19 mm para maquinarla. Las placas cortadas con la forma que se muestran en la figura 6.2 han sido maquinadas en una fresa de CNC. Las conicidades y los ajustes se ha preferido realizarlas en el torno, por el acabado y las tolerancias tan cerradas que se pueden conseguir, cabe destacar que el aluminio es un material muy especial para trabajar y no siempre se consiguen geometrías tan exactas haciendo uso de máquinas de CNC.

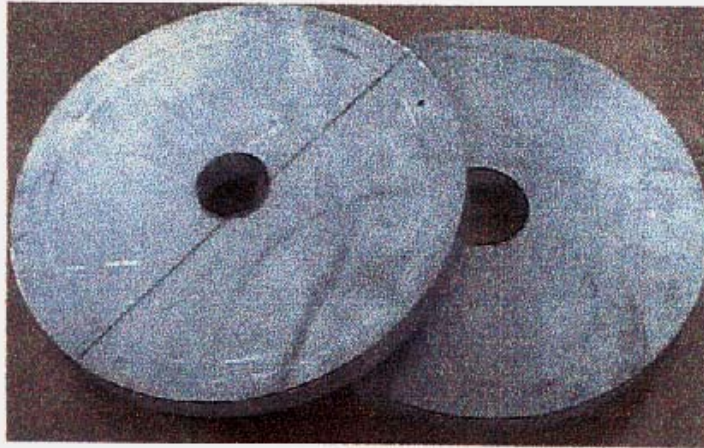


Fig. 6.2 Poleas en bruto.

Los ejes en donde se fijan las poleas representaron un reto al momento de realizar las chaveta o los chaveteros, según el caso; debido a que es un material muy duro y el maquinado fue muy lento. Para el eje de la polea móvil se realizaron dos bujes piloto para realizar las ranuras, uno de ellos inclinado ligeramente para reducir la profundidad de corte de cada diente de la brocha con que fueron maquinadas y otro para dar el acabado. Un procedimiento similar se realizó con la ranura interior de el eje de la polea fija.



Fig. 6.3 Flecha de polea móvil.

El eje de la polea fija resultó tener un alto grado de complejidad al momento del maquinado. Aunque básicamente son pocas operaciones de maquinado, su realización en una fresadora vertical es un tanto engorroso y muy tardado, ya que hay que desbastar alrededor de las ranuras, dar

profundidad y darle el perfil necesario a las salientes. Esta fue una labor de aproximadamente 20 horas solo en las ranuras.

Estas operaciones se pueden hacer fácilmente en un centro de maquinado vertical con un cuarto eje², y aunque el tiempo de maquinado seguiría siendo elevado, se tienen grandes ventajas en cuanto al acabado de las piezas y una menor probabilidad de fallas durante el maquinado. La pieza terminada se muestra en la figura 6.4.

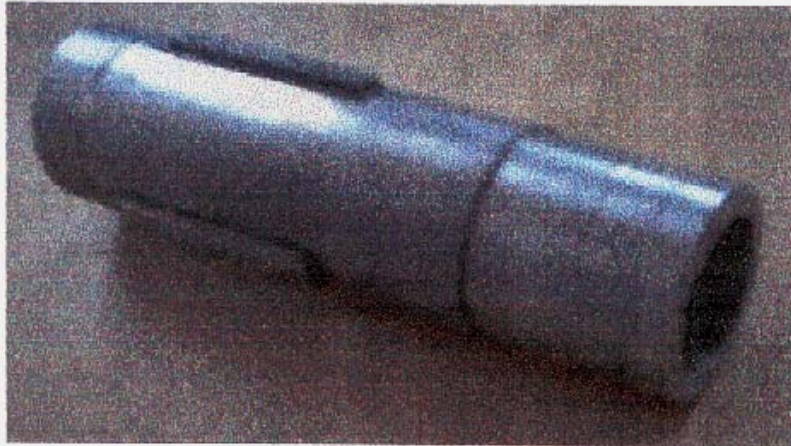


Fig. 6.4 Flecha de la polea fija.

El husillo es otra de las piezas más complicadas en la manufactura, ya que se trata de una barra roscada con varios diámetros en su longitud, varios de ellos con tolerancias. La tuerca resultó complicada de manufacturar porque hubo la necesidad de afilar una herramienta para esta aplicación en especial; sin embargo, el maquinado no presentó mayor complejidad. La tuerca ya montada en su cubo de sujeción se muestra en la figura 6.5, mientras que la figura 6.6 muestra el husillo.



Fig. 6.5 Tuerca acoplada.

² El centro de maquinado con el cual cuenta UPIITA es solamente de 3 ejes.

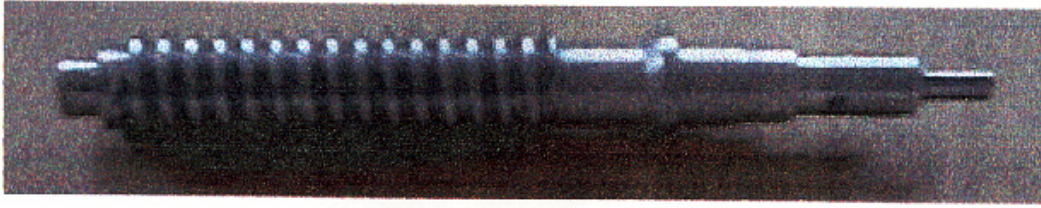


Fig. 6.6 Husillo.

Otras piezas realizadas fueron los contadores de 8 y 16 ranuras para los sensores de velocidad, las cuales se muestran en la figura 6.7. Las ranuras se pueden realizar fácilmente haciendo uso del cabezal divisor para la fresadora vertical.

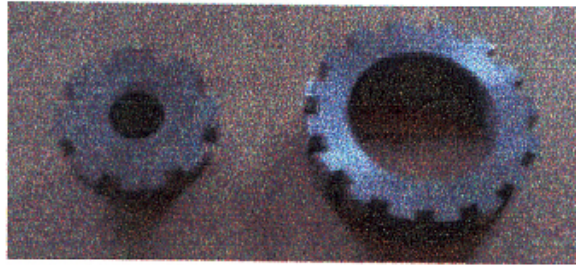


Fig. 6.7 Ruedas dentadas.

Algunas piezas, por su complejidad geométrica, fue imperativo realizarlas con máquinas de control numérico, dentro de estas piezas encontramos la placa del soporte del mecanismo, un separador del motor eléctrico y los brazos de la horquilla. Estos elementos se muestran en las figuras 6.8 a 6.10. Cabe mencionar que para una producción masiva estas piezas pueden fabricarse mediante el proceso de troquelado, ya que además de abatirse costos, se reduce el tiempo de manufactura.

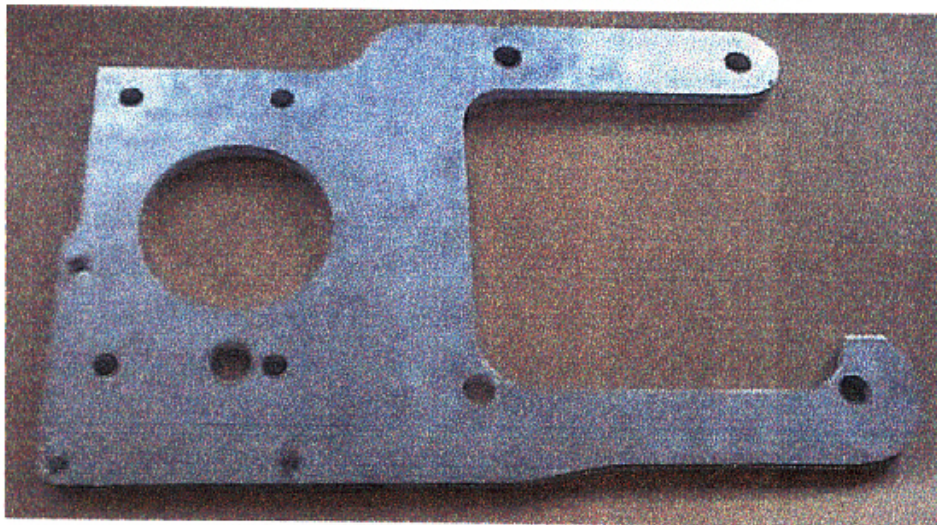


Fig. 6.8 Soporte del mecanismo.



Fig. 6.9 Brazos de horquilla.



Fig. 6.10 Separador de motor eléctrico.

La sección soldada es la torreta de fijación del mecanismo, un dato relevante es el hecho de que las piezas sufren ligeras deformaciones al soldarse, por lo que se recomienda primero soldar la estructura central para poder dimensionarla correctamente y finalmente soldarla a las soleras previamente maquinadas.

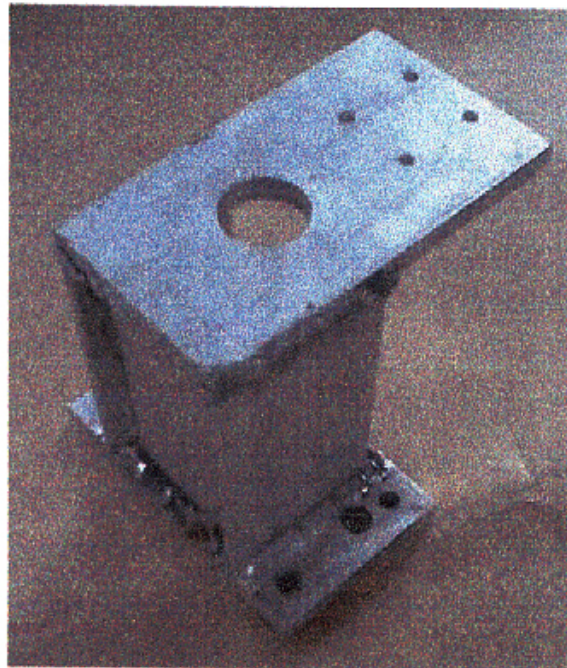


Fig. 6.11 Torreta de sujeción.

6.4 Mecanismo ensamblado

Una vez teniendo las partes que constituyen el mecanismo estamos en posibilidad de armar el conjunto. A continuación se presentan algunas imágenes de la transmisión desarrollada, donde se observa el montaje final de la estructura en el auto, como va operar normalmente.

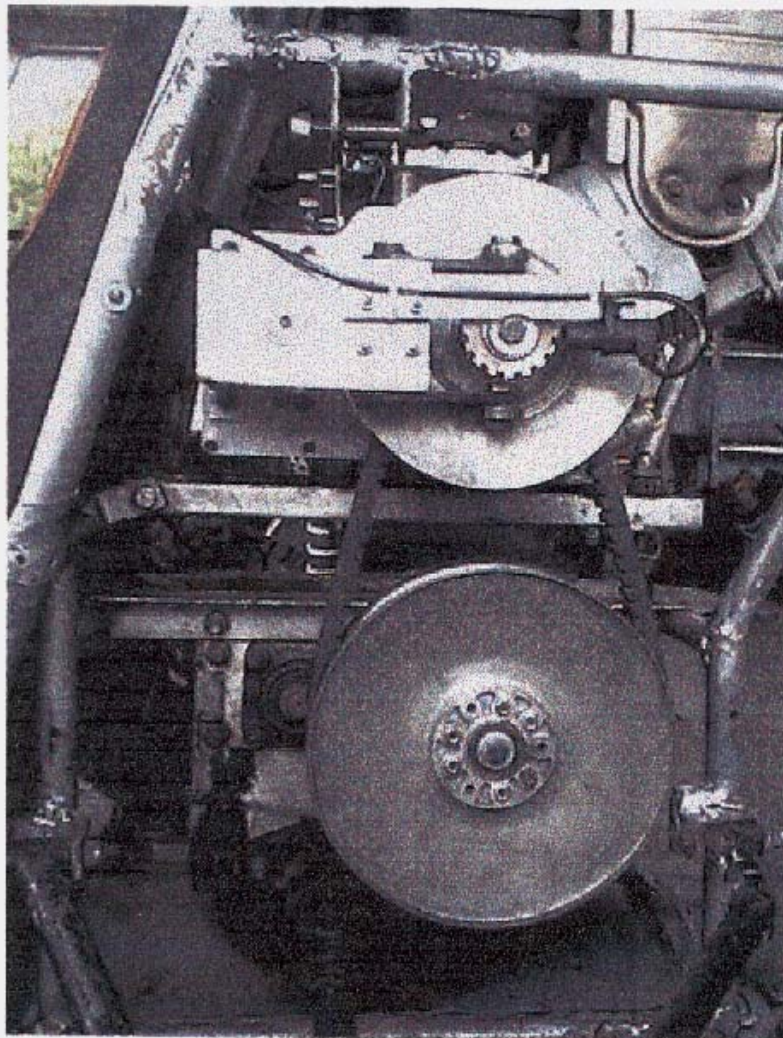


Fig. 6.12 Transmisión electrónica y polea conducida.

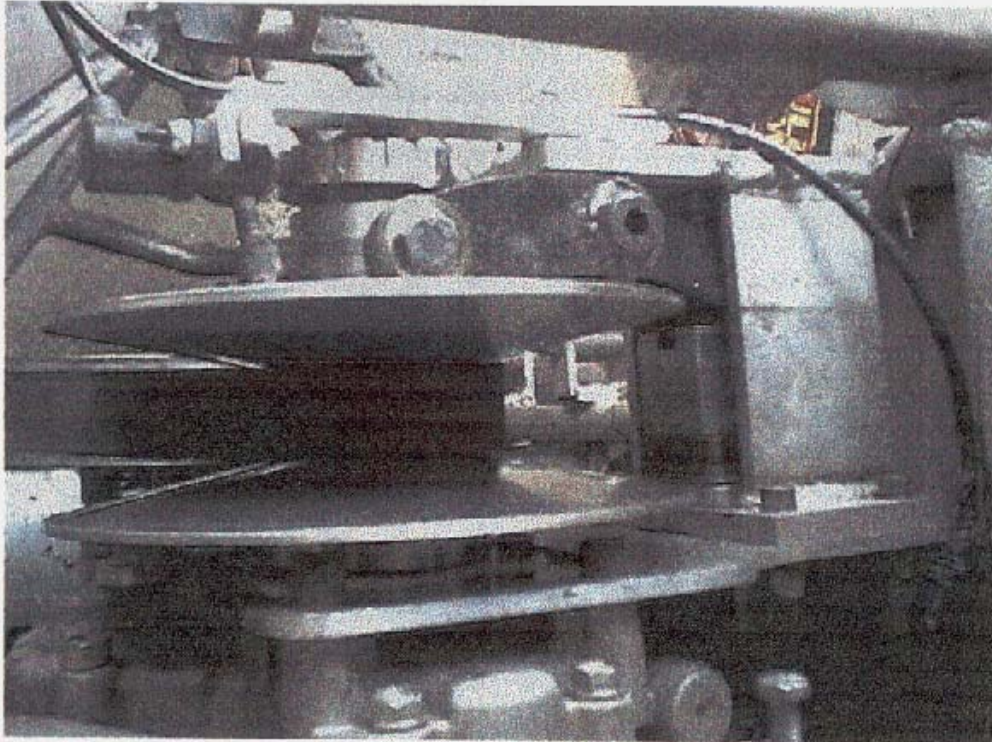


Fig. 6.13 Polea y mecanismo ensamblados y montados.

Esta transmisión se ha acoplado a una etapa de reducción con la que contaba anteriormente el auto (MB-Santo). En este sistema se tenía una distancia de centros nominal de 11 pulgadas, por lo que la distancia requerida por este sistema de transmisión pudo calibrarse con el mecanismo de ajuste del sistema anterior.

6.5 Puesta en marcha

Para la implementación de los circuitos electrónicos y comprobar su funcionamiento con la parte del software se montó uno de los sensores en un dispositivo donde se pudieran medir las revoluciones por minuto y verificar que los circuitos electrónicos procesaran de manera correcta la señal y que la etapa de control realizara las conversiones de manera adecuada.

Un método práctico fue montar el sensor en la máquina de control numérico, la cual tiene una precisión de ± 1 rpm. Este procedimiento se realizó para ambos sensores y se obtuvieron resultados favorables; posibilitando además la medición de la distancia máxima a la que pueden operar estos elementos, la cual fue de 9 mm.

Una vez garantizadas las entradas de los sensores al circuito y para facilitar la etapa de pruebas, se optó por emular estas señales con un par de generadores de funciones, los cuales permitieron la verificación del algoritmo de control variando la frecuencia de las señales de entrada y sin la necesidad de tener el auto en funcionamiento. Con este método se verificó la correcta operación del algoritmo de control en los modos de operación automático a plena carga y a carga moderada.

6.5.1 Problemas presentados durante la puesta en marcha

El primer problema presentado durante la puesta en marcha fue en la etapa de control. Trabajando en la emulación del auto con los generadores de señal se observó que en ocasiones el mecanismo dejaba de operar con regularidad o simplemente se “pasmaba”. Esta falla consumió mucho tiempo, ya que no se tenía una certidumbre de qué era lo que estaba ocurriendo, lo que puso de manifiesto una grave carencia del compilador (*Pic Basic Pro*) que es no contar con un sistema de simulación con monitoreo de variables.

Finalmente se llegó a la conclusión de que el problema se encontraba en la función predefinida de salida de *pwm*; por lo cual se tuvo que programar una función que emulara el funcionamiento de ésta. Después de implementar esta función, la operación del sistema de control se realizó de manera satisfactoria, en el banco de pruebas se estuvo probando de manera continua, conmutando los modos de operación y variando las condiciones de operación del sistema; después de varias pruebas de tiempo prolongado (30 min. aprox.) se determinó que no se presentó más el error.

El segundo problema presentado fue la incapacidad del mecanismo para desplazar la banda bajo cargas dinámicas; es decir, con el sistema completo. Una solución propuesta y llevada a cabo fue el cambiar el resorte de ajuste de la polea conducida por uno de constante menor.

Con esta solución se hizo posible la verificación del funcionamiento del auto en condiciones controladas de operación. Bajo estas restricciones se permite ver que el mecanismo actúa correctamente en todo el intervalo de operación y que el control realiza las acciones como se tenía previsto; una desventaja de este modo de prueba es que no es posible verificar el funcionamiento del sistema en condiciones de alta demanda como lo es una pendiente con gran ángulo de inclinación.

Una propuesta para aumentar la fuerza axial generada por el mecanismo fue aumentar la relación en la reducción del motor eléctrico; es decir, darle mayor ventaja mecánica a este sistema; sin embargo se hizo notorio que la estructura del soporte principal comenzaba a flexionarse con una carga mayor a la carga de diseño. Este fenómeno se dio porque este soporte estaba diseñado al límite de operación, recordando que el peso es un factor clave en el desempeño del auto, la mínima ventaja en peso es significativa para el desempeño del auto.

Una solución de primera instancia es generar un soporte de un material cuyas características de esfuerzos permitan soportar una carga más elevada; sin embargo se traduciría en un peso excesivo, por lo que un rediseño de la torreta de sujeción de la horquilla sería muy conveniente.

Se ha realizado un estudio a la polea conducida del sistema original y se ha obtenido la gráfica mostrada en la figura 6.14, donde se ha graficado la fuerza axial generada en la polea como función del radio efectivo de los contra el régimen del motor.

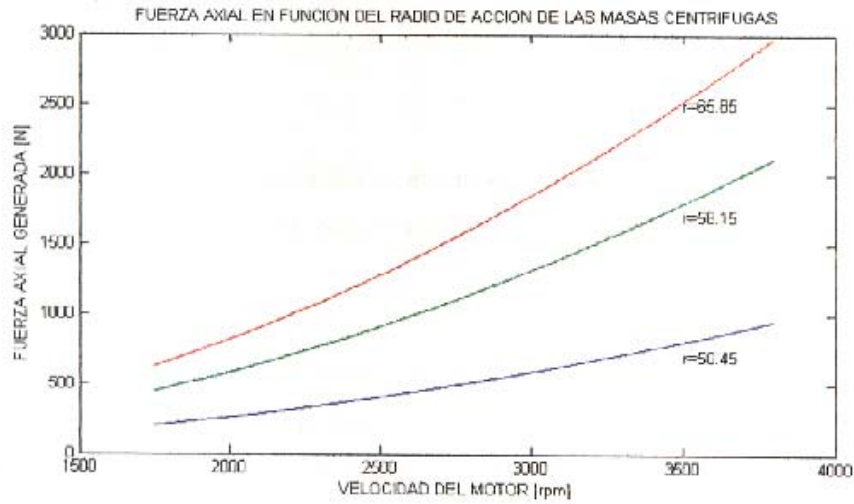


Fig. 6.14 Fuerza axial generada en función del régimen y del radio.

De estas gráficas se pone de manifiesto que la fuerza propuesta es menor que la que genera el sistema actual. Algunas de las posibles alternativas de solución es sustituir la polea conducida por una polea sin sensibilidad al par demandado por el camino o rediseñar la estructura para que soporte la carga debida a la generación de la fuerza axial máxima que es de alrededor de los 3kN.

CONCLUSIONES

En el presente Trabajo Terminal se ha desarrollado una transmisión con control electrónico capaz de operar en forma automática y manual, con aplicación directa a vehículos de competición de la fórmula Mini Baja.

Es preciso apuntar el hecho de que el sistema mecatrónico propuesto tiene ventajas de operación sobre su contraparte mecánica, la ventaja de entrada es que tiene un mayor intervalo de operación si se le compara con la polea conductora de línea.

Se ha propuesto una velocidad máxima de 65 km/h, aunque teóricamente esta velocidad es posible alcanzarla en una ligera pendiente a favor, el tipo de competencia es más que nada de fuerza de empuje, por lo que la diferencia en el intervalo de operación entre ambos sistemas se ha recorrido hacia el lado del par máximo, con el objeto de sacar provecho en las pruebas de arrastre y pendiente, sin olvidar las pendientes propias de las pistas donde es común que los carros necesitan ser auxiliados.

El principio de modularidad del objetivo particular es cubierto casi por completo, con las salvedades que para hacer un uso eficiente del sistema de transmisión es necesario cambiar la relación de transmisión de la etapa de reducción. Una restricción más es el hecho de que el sistema propuesto tiene una geometría ligeramente diferente a la de los sistemas convencionales; por tal motivo se tiene que realizar un diseño del soporte del motor donde corra axialmente una distancia de 15mm para mantener perfectamente alineada la banda, en el caso de querer intercambiar ambos sistemas de poleas con un mismo reductor de velocidad.

Otra consideración importante es el hecho de que en el nuevo Reglamento de Competición se pide que los sistemas asistidos, como es el caso, vayan alimentados por un alternador impulsado por la propia fuerza del motor. Esto representa un aumento en peso, sin embargo se puede reducir al disminuir la capacidad de las baterías. Al incluir un sistema de alternador se puede controlar el periodo de carga; es decir, dejar de cargar cuando el pedal del acelerador se encuentre a fondo y cargar al máximo cuando se tenga oprimido el pedal del freno, por ejemplo.

Con la implementación de un solo alternador se puede tener la suficiente energía como para asistir otros sistemas como la medición dinámica del comportamiento del auto y la telemetría. En este sentido,

la telemetría podría marcar la diferencia entre el equipo de UPIITA y los otros, ya que no se ha desarrollado un auto Mini Baja que vaya midiendo sus condiciones de operación.

Una primera fase podría ser que se guardaran en memoria los parámetros de velocidad del motor, del auto y la relación de transmisión, ya sea dentro de los mismos registros de los microcontroladores para pruebas específicas (aceleración o arrastre) o en memorias externas para guardar el comportamiento de cuatro horas de carrera.

Un estudio más a fondo podría resultar en que, con base en los datos dinámicos registrados durante el recorrido de la pista, se pudiera establecer cuál es la mejor relación de transmisión para cada tramo y tener una asistencia a la transmisión desde los pits. Un control de transmisión inteligente se podría implementar con un sistema difuso o una red neuronal dinámica.

Estas consideraciones ayudarían a subsanar algunas deficiencias en la etapa de visualización. Los displays propuestos son muy pequeños y poco legibles con las condiciones de luz y movimiento en que se desarrollan las competencias. Una posible alternativa es el uso de displays de 3 pulgadas, con los inconvenientes de su alto consumo de corriente y baja visibilidad con luz ambiental intensa. El lodo típico de las carreras es otro punto en contra para la visualización.

Es por estos motivos que se recomienda tener la etapa de visualización solo para el *set up* del auto, en las pruebas que se precise y posteriormente alojar este modulo de control en un lugar seguro para el desarrollo de la competencia.

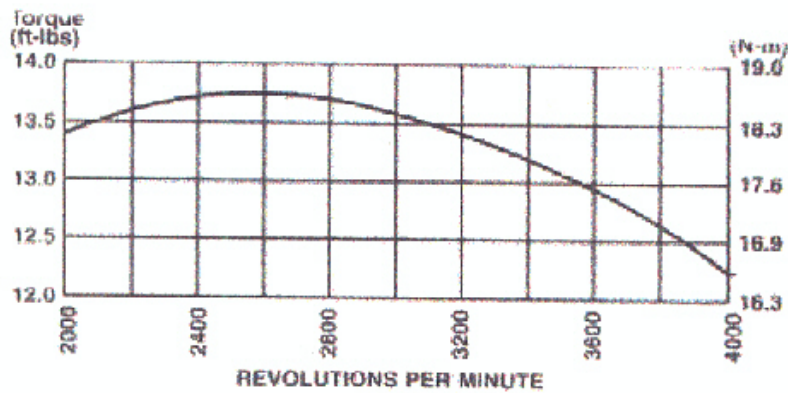
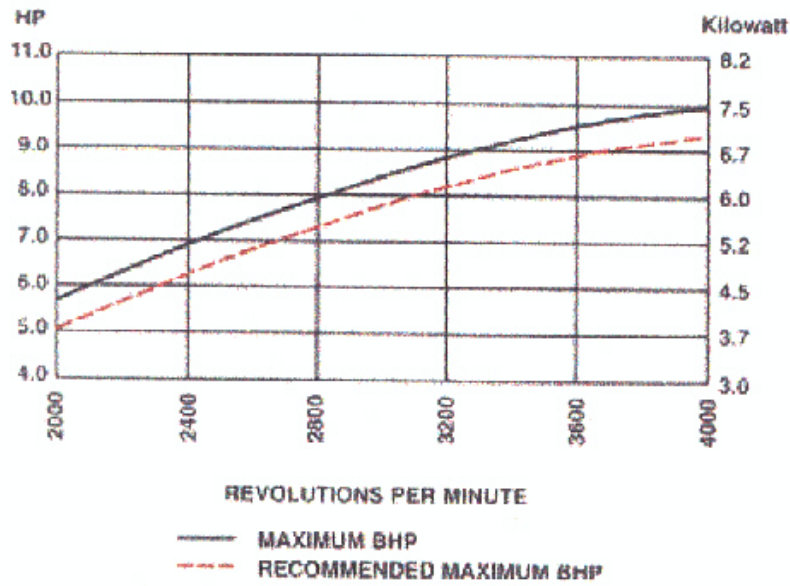
En cuanto a la manufactura de los componentes, es simple, en general; aunque existen piezas con acabados de precisión, como los platos de las poleas y sus respectivos ejes. Se requiere de un lugar donde suelden aluminio y de preferencia un centro de maquinado con un cuarto eje para la realización de la flecha principal. De ahí en fuera, tanto los componentes mecánicos como eléctricos se pueden realizar en las instalaciones de UPIITA.

Una parte complementaria difícil de realizar es la etapa de reducción, la cual se sugiere que se implemente con engranes helicoidales, ya que puede alcanzar 6700 rpm (9700 rpm empleando la polea COMET 790), velocidades prohibitivas para impulsores de cadena, hablando de 10 HP.

La parte crucial del desarrollo del prototipo se dará cuando compita contra otros autos, solo ahí se verá si cumple o no con las expectativas. Para tal efecto tendremos que esperar la próxima carrera, donde veremos si es en verdad o no una "Gran Idea para los Mini Baja".

**APÉNDICE A
MOTOR OFICIAL DE COMPETICIÓN**

MARCA: Briggs & Stratton
 MODELO: 205432
 TIPO: INTEC OHV 10HP
 DESPLAZAMIENTO: 305 cc



Fuente: Briggs & Stratton, "Internacional Engines", Milwaukee, 2003

APÉNDICE B
COEFICIENTES DE RESISTENCIA A LA RODADURA

Rueda	Presión de inflado [lb/pulg ²]	Carga [lb]	Concreto	Césped Azul-verde	Tierra de cultivo labrada	°Arena suelta	Nieve floja de 10 a 14 pulg prof.
2.5 x 36 acero	...	1000	0.010	0.087	0.384	0.431	0.106
4 x 24 acero	...	500	0.034	0.082	0.468	0.504	0.282
4.00-18 4 capas	20	500	0.034	0.058	0.366	0.392	0.210
4 x 36 acero	...	1000	0.019	0.074	0.367	0.413	
4.00-30 4 capas	36	1000	0.018	0.057	0.322	0.319	
4.00-36 4 capas	36	1000	0.017	0.050	0.294	0.277	
5.00-16 4 capas	32	1000	0.031	0.062	0.388	0.460	
6 x 28 acero	...	1000	0.023	0.094	0.368	0.477	0.156
6.00-16 4 capas	20	1000	0.027	0.060	0.319	0.338	0.146
6.00-16 4 capas*	30	1000	0.031	0.070	0.401	0.387	
7.50-10 4 capas**	20	1000	0.029	0.061	0.379	0.429	
7.50-16 4 capas	20	1500	0.023	0.055	0.280	0.322	
7.50-28 4 capas	16	1500	0.026	0.052	0.197	0.205	
8 x 48 acero	...	1500	0.013	0.065	0.236	0.264	0.118
7.50-36 4 capas	16	1500	0.018	0.046	0.185	0.177	0.0753
9.00-10 4 capas**	20	1000	0.031	0.060	0.331	0.388	
9.00-16 6 capas	16	1500	0.042	0.054	0.249	0.272	0.099

* Llanta de tractor con anillo contra patinaje

** Llanta de tractor con rodadura apostillada

Todas las demás llantas con rodadura de tipo implemento

Fuente: Marks, 1995, Manual del Ingeniero Mecánico.

APÉNDICE C

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA

```

% CALCULO DE POTENCIA REQUERIDA %
% analisis de la RR y arrastre aerodinamico%

clear all
close all
b=9.6263e-3;    %coeficiente de rodadura [m]
r=0.27;        %radio de la rueda [m]
W=280*9.8;     %Peso del auto con piloto [N]
teta=-10:5:45; %Angulo de la pendiente
teta2=teta*pi/180; %correccion a radianes
vel=5:5:100;   %Velocidad en km/h
vel2=vel/3.6;  %correccion a m/s
Ca=0.8;        %Coeficiente de arrastre
Ro=1.225;      %Densidad del aire [kg/m3]
A=1.8;         %Area de frontal proyectada [m2]

hold on
for i=1:(45-(-10))/5 %para cada angulo
F1=W*(sin(teta2(i))+b/r*cos(teta2(i)));
F2=W*(sin(teta2(i))+b/r*cos(teta2(i)))+Ca*Ro*A*power(vel2,2)/2;
    for j=1:(100-5)/5
        P1=F1*vel2/745.7;
        P2=F2.*vel2/745.7;
        plot(vel,P2) %Selecciona P1,P2 o P1-P2
    end
end

plot(vel,10,'r+')
title('CONSIDERANDO RR Y ARRASTRE AERODINAMICO')
xlabel('VELOCIDAD DEL AUTO [km/h]')
ylabel('POTENCIA REQUERIDA [HP]')
axis([5 100 0 20])
X=[89 73 73 68.5 58 48.7 40.8 35 30.8 27 24.1 21.2];
Y=[8 8 14 19 19 19 19 19 19 19 19];
TXT=['-10°;' -5°;' 00°;' 05°;' 10°;' 15°;' 20°;' 25°;' 30°;' 35°;' 40°;' 45°'];
text(X,Y,TXT)

hold off

```

APÉNDICE D
PROGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE LOS DIAMETROS DE LAS POLEAS EN
FUNCIÓN DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

```

%Programa para calcular el D1 y D2 de una banda dada la
%RELACION de TRANSMISION. Se requiere tambien C y L%
%Metodo de Biseccion%

clear all
C=281.52;
L=1087.40;
REL=[3.41 2.46 1.77 1.28 0.92 0.70 0.57];%Relacion de Tx buscada
N=7;          %Numero de elementos de busqueda

TOL=0.0005;
No=1000;

for j=1 : N

a=50;        %Limites de operacion para el algoritmo[mm]
b=400;
i=1;
while i<No
    p=a+(b-a)/2;
    fdp = 8*power(C,2) + (6.28*(p+p/REL(j))-4*L)*C + power(p-p/REL(j),2);
    if fdp==0 || (b-a)/2<TOL
        i;
        D2(i)=p;
        break
    end
    i=i+1;
    fda = 8*power(C,2) + (6.28*(a+a/REL(j))-4*L)*C + power(a-a/REL(j),2);
    f=fdp*fda;
    if f>0
        a=p;
    else
        b=p;
    end
end
end
if i==No
    j
    1111
end

end
REL
D2
D1 = D2./REL

```

APÉNDICE E

PROGRAMAS PARA LOS MICROCONTROLADORES

MICROCONTROLADOR PRIMARIO

```

'---[ Title ]-----
'
' File..... uC1.bas _____
' Purpose... CDOP-> | _____ |-> PWM
'           uC2 -> | PIC16F877 |-> selector_d_vel
'           SPM -> | _____ |
' Author.... Raúl Gómez Ayala
' Started... 10/03/05
' Updated... 22/06/05
'
'---[ Program Description ]-----
'
'
'---[ Defines/Constants ]-----
DEFINE ADC_BITS 8 'set no. bits in result
DEFINE ADC_CLOCK 3 'set clock source (3=RC)
DEFINE OSC 20
C_TAC con 188 '18.8 rpm/pulso
C_VEL con 54 '0.54 kmh/pulso
T_MOTOR con 200 't_on X*5 ms con XTAL a 4 mhz
CTE_P con 100 'MAX 255
C_ERROR_RPM con 10 'MAX 20
VEL_MIN con 3 'vel minima de operacion

VAL_N con 220
VAL_1a con 186
VAL_2a con 159
VAL_3a con 132
VAL_4a con 106
VAL_5a con 79
VAL_6a con 52
VAL_7a con 25

'---[ Variables ]-----
MO var bit
RO var bit
BRAKE var bit
SPA1 var bit
SPA2 var bit
CMA var bit
CMD var bit
signo var bit
mo_ant var bit
cambio_man var bit

SPM var byte
val_deseado var byte
n_tac var byte
n_vel var byte
rel_tx var byte
error var byte
udt var byte
i var byte
j var byte
l var byte
m var byte
reg_vel var byte[7]

```

```

tac      var word
vel      var word
ctrl_p   var word
udt_w    var word
rpm_deseadas var word
error_rpm var word
'---[ Initialization ]-----
adcon1=%00001110
trisa=%00010001
trisa=$FF
trisc=$FF
trisd=$FF
trise=%00000001

reg_vel[0]=VEL_MIN 'Vel min en 1a,2a,...,7a
reg_vel[1]=10
reg_vel[2]=14
reg_vel[3]=20
reg_vel[4]=27
reg_vel[5]=36
reg_vel[6]=45

cambio_man=0
mo_ant=1
rel_tx=0
porte.2=0 'para el pwm
'---[ Main Code ]-----
MAIN:
  gosub ADQUISICION
  branchl MO,[MO_MAN,MO_AUTO] '0=Manual
                                '1=Automatico
MO_MAN:
  if mo_ant=1 then
    gosub AJUSTAR_N_ADECUADA
  endif
  if (vel/100)<VEL_MIN then
    rel_tx=0
  endif
  if (rel_tx=0)and(CMA=0)then
    gosub INICIO_MARCHA
    goto MO_MAN_END
  endif
  if CMA=0 then
    if (rel_tx<7)and(CMD<>0)then
      rel_tx=rel_tx+1
      cambio_man=1
    endif
  endif
  if (CMD=0)then
    if (rel_tx>0)and(CMA<>0)then
      rel_tx=rel_tx-1
      cambio_man=1
    endif
  endif
  gosub VAL_DESEADO_FDRO
  gosub CALC_UDT
  gosub ACTUALIZAR_MECANISMO
MO_MAN_END:
  mo_ant=0
  cambio_man=0
  goto MAIN

MO_AUTO:
  branchl SPA2,[MO_AUTO_PC,MO_AUTO_CM]

```

```

MO_AUTO_PC:
  if (rel_tx=8) and (CMA=0) then
    gosub INICIO_MARCHA
    GOTO MO_AUTO_END
  endif
  gosub VAL_DESEADO_MO_AUTO
  if (vel/100)<VEL_MIN then
    rel_tx=0
    gosub VAL_DESEADO_FDRO
  endif
  gosub CALC_UDT
  if rel_tx=0 then
    rel_tx=8
  else
    rel_tx=9
  endif
  gosub ACTUALIZAR_MECANISMO
  goto MO_AUTO_END

MO_AUTO_CM:
  if (rel_tx=8) and (CMA=0) then
    gosub INICIO_MARCHA
    GOTO MO_AUTO_END
  endif
  gosub AJUSTAR_N_ADECUADA
  gosub VAL_DESEADO_FDRO
  gosub CALC_UDT
  if rel_tx=0 then
    rel_tx=8
  else
    rel_tx=9
  endif
  gosub ACTUALIZAR_MECANISMO
  goto MO_AUTO_END

MO_AUTO_END:
  mo_ant=1
  goto MAIN
.

*****
ACTUALIZAR_MECANISMO: 'rel_tx,signo,udt ->[]-> selector,pwm
  porta.1=rel_tx.0
  porta.2=rel_tx.1
  porta.3=rel_tx.2
  porta.5=rel_tx.3
  porte.1=signo
  gosub PWM_virtual
  if cambio_man=1 then
    for i=1 to 2
      gosub PWM_virtual
    next i
  endif
  return
*****

ADQUISICION:
  n_tac=portb
  n_vel=portd
  tac=n_tac*C_TAC   'formato xxxx.x
  vel=n_vel*C_VEL  'formato xx.xx
  adcn 0,SPM
  MO  =portc.0
  RO  =portc.1
  CMA =portc.2
  CMD =portc.3
  BRAKE=portc.4

```



```

SPA1 =portc.5
SPA2 =portc.6
return
*****
AJUSTAR_N_ADECUADA: 'RO ->[]-> rel_tx
for j=6 to 0 step -1
  if ((vel/100)>reg_vel[j]) then
    rel_tx=j
    rel_tx=rel_tx+1
    return
  endif
next j
rel_tx=0
return
*****
CALC_UDT: 'val_deseado,SPM,t_int ->[]-> signo,udt
if val_deseado>SPM then
  signo=0
  error=val_deseado-SPM
else
  signo=1
  error=SPM-val_deseado
endif
ctrl_p=error*CTE_P
ctrl_p=ctrl_p/10
udt_w=ctrl_p
if udt_w>2550 then
  udt_w=2550
endif
udt=udt_w/10
if error>6 then
  udt=255
endif
return
*****
INICIO_MARCHA:
if SPA1=0 then return
rel_tx=1
signo=1
udt=255
for l=1 to 3
  gosub ACTUALIZAR_MECANISMO
next l
return
*****
VAL_DESEADO_FDRO: 'RO,rel_tx ->[]-> val_deseado
lookup rel_tx,[VAL_N,VAL_1a,VAL_2a,VAL_3a,VAL_4a,VAL_5a,VAL_6a,VAL_7a],val_deseado
return
*****
VAL_DESEADO_MO_AUTO: 'RO,tac,SPM ->[]-> val_deseado
if RO=0 then
  rpm_deseadas=26000 'RPM LO 'formato xxxx.x
else
  rpm_deseadas=34000 'RPM HI 'formato xxxx.x
endif
if tac>rpm_deseadas then
  error_rpm=(tac-rpm_deseadas)/10
  error_rpm=C_ERROR_RPM*error_rpm
  error_rpm=error_rpm/100
  val_deseado=SPM-error_rpm.lowbyte
else
  error_rpm=(rpm_deseadas-tac)/10
  error_rpm=C_ERROR_RPM*error_rpm
  error_rpm=error_rpm/100
  val_deseado=SPM+error_rpm.lowbyte
endif

```

```
if val_deseado<VAL_7a then
  val_deseado=VAL_7a
endif
if(val_deseado>VAL_N)and((vel/100)<VEL_MIN)then
  val_deseado=VAL_N
endif
if(val_deseado>VAL_N)and((vel/100)>VEL_MIN)then
  val_deseado=VAL_1a
endif

return
*****
PWM_virtual: ' udt ->[]-> pwm
for m=1 to 255
  porte.2=1
  pauseus(3*udt)
  porte.2=0
  pauseus(3*(255-udt))
next m
return
*****
end
```

APÉNDICE F

PROGRAMAS PARA LAS GALES

GAL 1 (SELECTOR DE VELOCIDAD)

```

Title      SELECTOR DE VELOCIDAD - ECVT
Pattern    pds
Revision    RAUL GOMEZ AYALA
Company     SAE-IPN-UIIITA
Date        04-JUNIO-2005
CHIP       PLU22v10
;Definición de terminales
;Entradas
      PIN 11 X0
      PIN 10 X1
      PIN  9 X2
      PIN  8 X3
;Salidas
      PIN 16 A
      PIN 17 B
      PIN 21 C
      PIN 22 D
      PIN 23 E
      PIN 15 F
      PIN 14 G
T_TAB
; (X3 X2 X1 X0) >> /A /B /C /D /E /F /G ;display ANODO COMUN
; (X3 X2 X1 X0) >>  A  B  C  D  E  F  G ;display CATODO
COMUN
      0 0 0 0 : 1  1  1  1  1  1  0 ;0
      0 0 0 1 : 0  1  1  0  0  0  0 ;1
      0 0 1 0 : 1  1  0  1  1  0  1 ;2
      0 0 1 1 : 1  1  1  1  0  0  1 ;3
      0 1 0 0 : 0  1  1  0  0  1  1 ;4
      0 1 0 1 : 1  0  1  1  0  1  1 ;5
      0 1 1 0 : 1  0  1  1  1  1  1 ;6
      0 1 1 1 :  1  1  1  0  0  0  0 ;7
      1 0 0 0 : 0  0  0  0  0  0  1 ;8
      1 0 0 1 : 1  1  1  0  1  1  1 ;A
SIMULATION
VECTOR FNT: [X3 X2 X1 X0]
TRACE_ON A ;visualiza en hexadecimal en el diagrama de tiempos
SETF /X3 /X2 /X1 /X0 ; 00
SETF /X3 /X2 /X1 X0 ; 01
SETF /X3 /X2 X1 /X0 ; 02
SETF /X3 /X2 X1 X0 ; 03
SETF /X3 X2 /X1 /X0 ; 04
SETF /X3 X2 /X1 X0 ; 05
SETF /X3 X2 X1 /X0 ; 06
SETF /X3 X2 X1 X0 ; 07
SETF X3 /X2 /X1 /X0 ; 08
SETF X3 /X2 /X1 X0 ; 09
TRACE_OFF

```

APÉNDICE G COMPARATIVO ENTRE EL USO DE LA POLEA CONDUcida 770 Y 790 DE COMET

Los diámetros de paso de las poleas conducidas disponibles son:

COMET 770: $\rightarrow D_{\min} = 4.4766 \text{ pulg} = 113.70\text{mm}$
 $\rightarrow D_{\max} = 9.6625 \text{ pulg} = 245.42\text{mm}$

COMET 790: $\rightarrow D_{\min} = 3.0859 \text{ pulg} = 78.38\text{mm}$
 $\rightarrow D_{\max} = 8.2725 \text{ pulg} = 210.12\text{mm}$

770 => 6.03 overall

Si $N = \frac{245.42}{71.44} = 3.44 \rightarrow \boxed{3.44:1}$ $\eta_1 = 3800 \text{ rpm}$ $\eta_2 = 1105 \text{ rpm}$

Si $N = \frac{113.70}{198.44} = 0.57 \rightarrow \boxed{1:1.75}$ $\eta_1 = 3800 \text{ rpm}$ $\eta_2 = 6667 \text{ rpm}$

790 => 7.54 overall

Si $N = \frac{210.12}{71.44} = 2.94 \rightarrow \boxed{2.94:1}$ $\eta_1 = 3800 \text{ rpm}$ $\eta_2 = 1293 \text{ rpm}$

Si $N = \frac{78.38}{198.44} = 0.39 \rightarrow \boxed{1:2.56}$ $\eta_1 = 3800 \text{ rpm}$ $\eta_2 = 9744 \text{ rpm}$

Del overall observamos que el sistema puede tener mayor eficiencia si se opera con una polea conducida COMET 790.

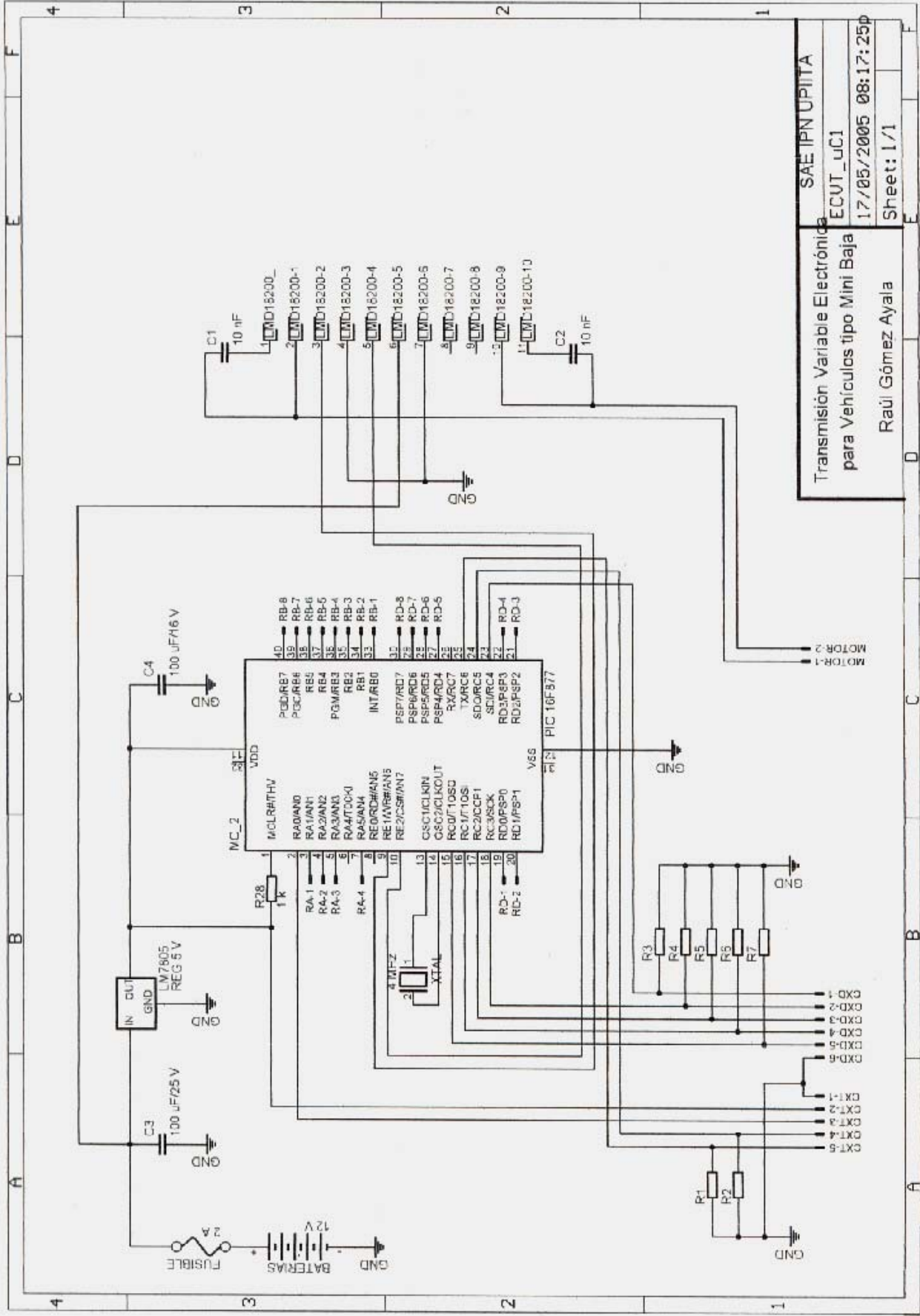
NOTA: Al cambiar el diámetro de una de las poleas cambian también algunos datos como la distancia entre centros y los diámetros de operación, cambiando consecuentemente la separación entre platos para cada relación de transmisión.

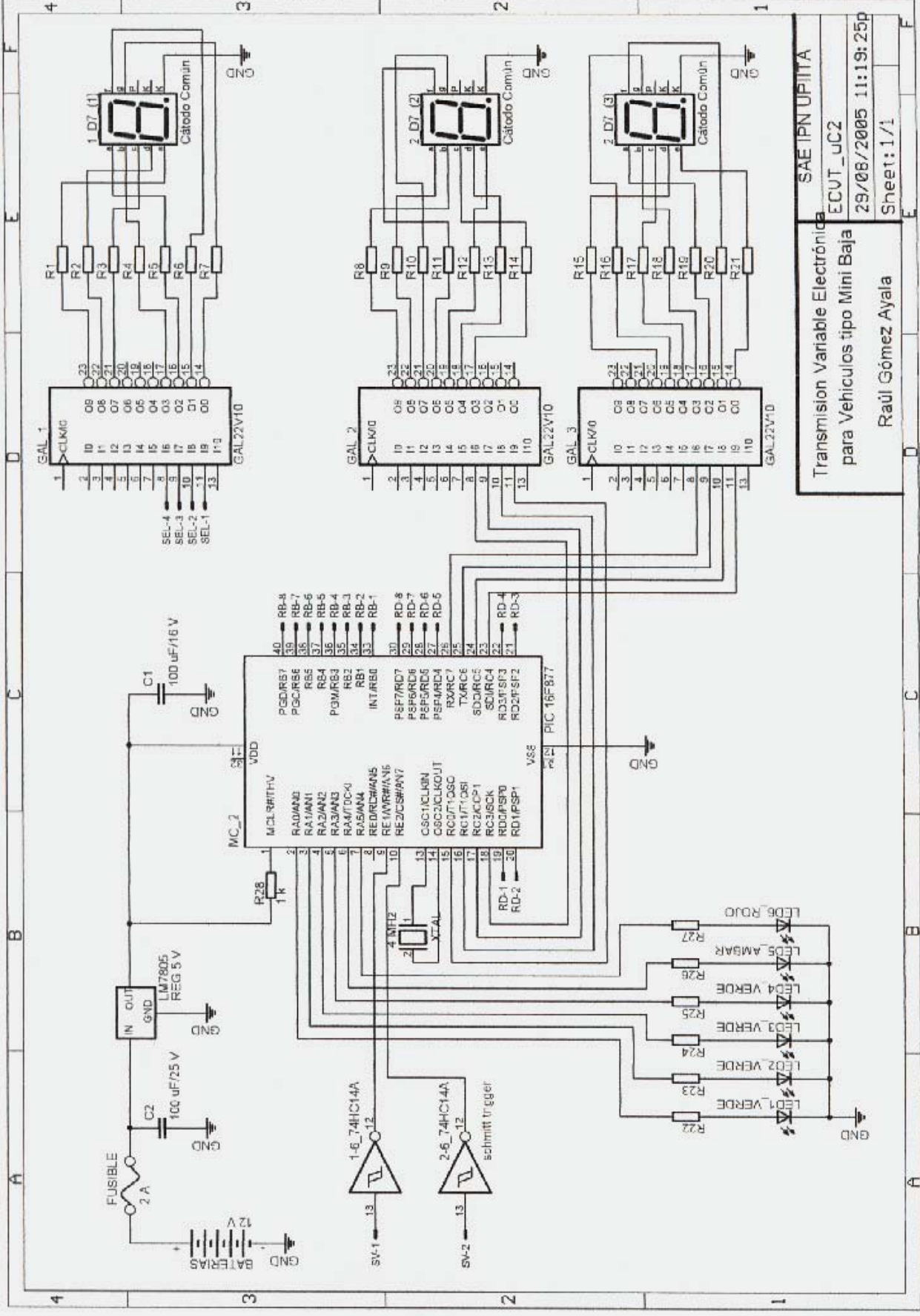
Una desventaja es que también cambia el valor de la reducción fija de velocidad. Obsérvese la siguiente tabla comparativa:

RELACIÓN TOTAL REQUERIDA [X : 1]	COMET 770	COMET 790
D rueda=54cm	10.44	15.25
D rueda=62cm	11.98	17.51

Las relaciones de transmisión grandes pueden traducirse en un aumento excesivo de peso, por lo que se ponen en compromiso el desempeño del auto por la transmisión y el buen desempeño del auto por el simple hecho de tener un auto ligero.

APÉNDICE H
PLANOS ELECTRÓNICOS

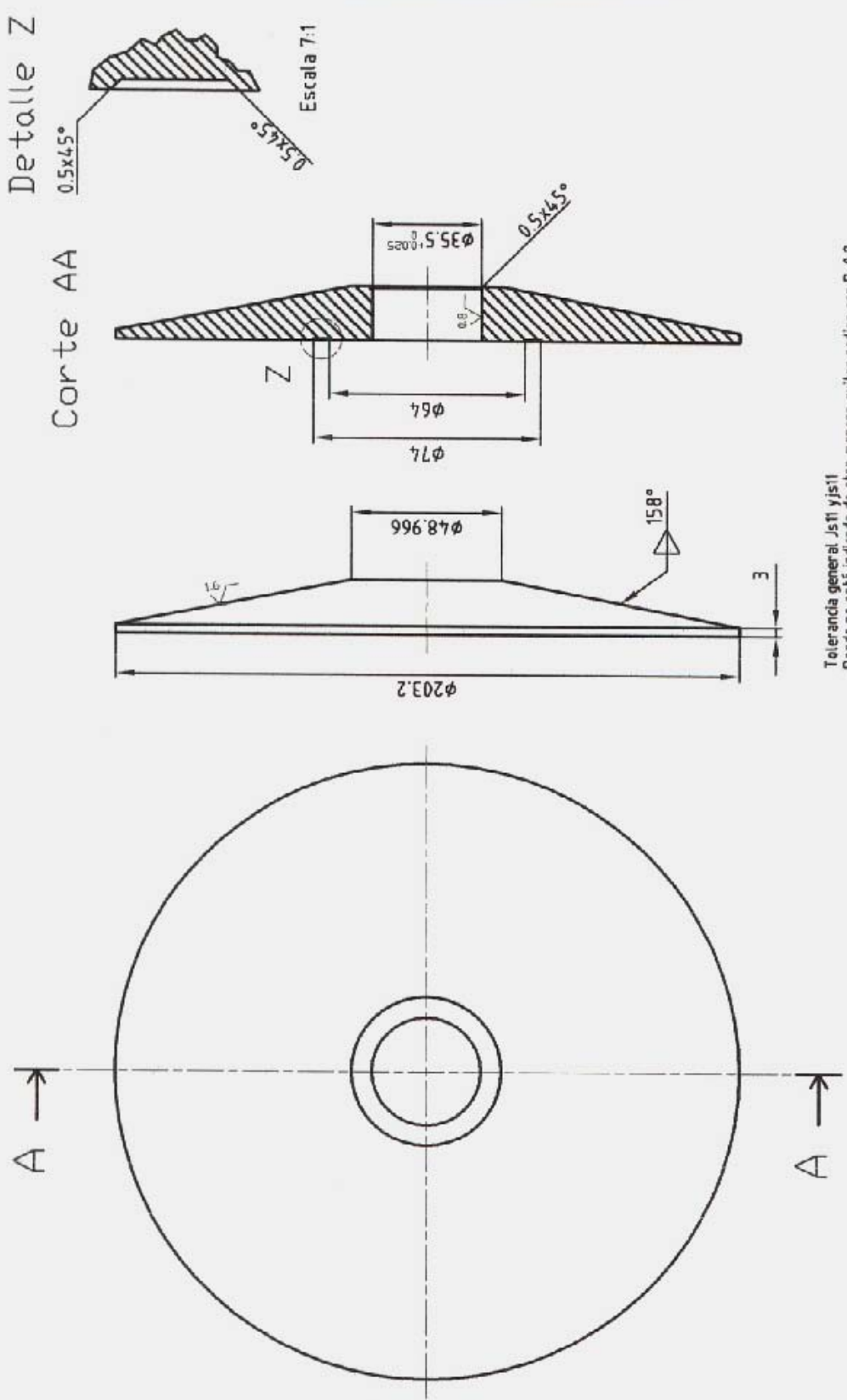




SAE IPN UPIITA
 ECUT_UC2
 29/08/2005 11:19:25p
 Sheet: 1/1

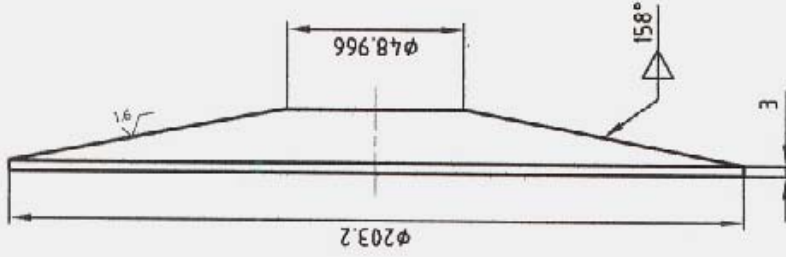
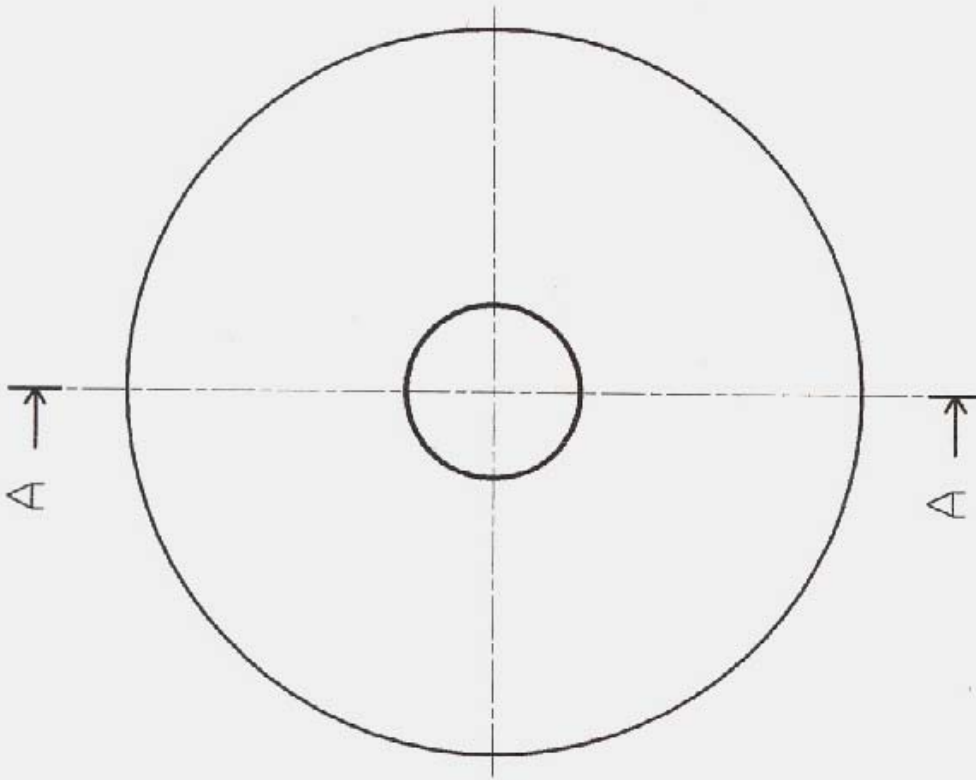
Transmision Variable Electrónica
 para Vehiculos tipo Mini Baja
 Raul Gómez Ayala

APÉNDICE I
PLANOS MECÁNICOS

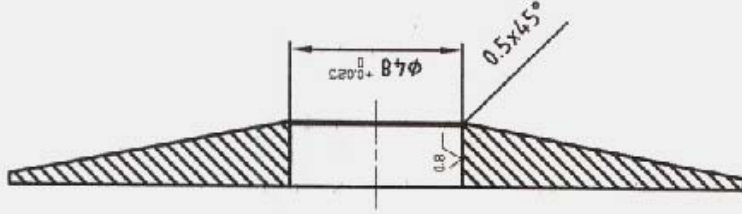


Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión		Vorbale		Electronica para vehiculos		Tipo		Mini		Baja	
Fecha:		22/Junio/2005		Dib. nº:		Acreditación:		No especificada		Dureza:	
Escala:		No especificada		Tratamiento T:		Ninguno		HBN 95		No. dibujo:	
Material:		6661-T6		Estado:		Laminado		No. parte:		ECLVT - 01	
Diseño:		Raúl Gómez Ayala		Revisó:		Ing. Juan R. Rodríguez Bella		No. dibujo:		001	
SAE		IPN UPITA		PLATO FIJO		POLEA CONDUCTORA					

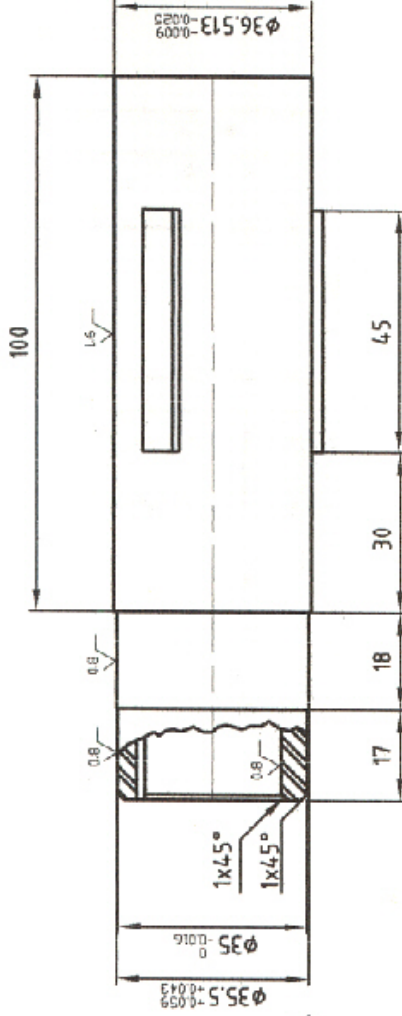
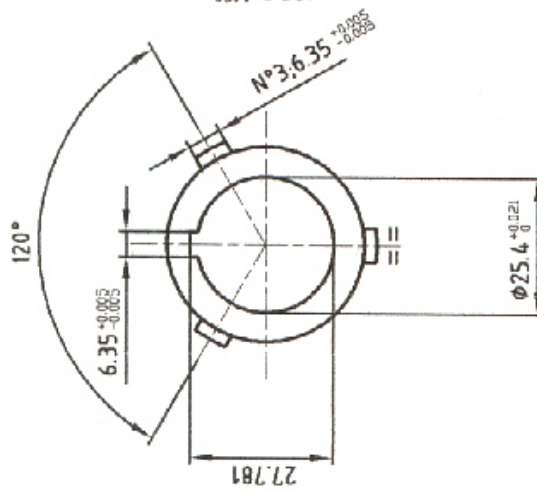


Corte AA



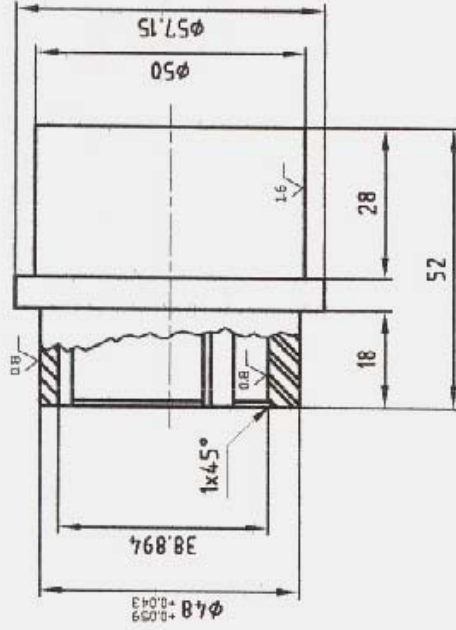
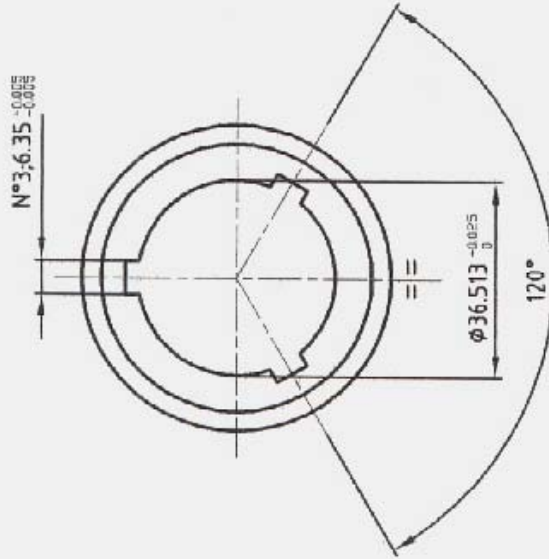
Tolerancia general Js11 yjs11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión		Vehículo		Electronica para vehiculos tipo Mini Bojo		
SAE	IPN UPITA	PLATO MÓVIL		Fecha:	22/junio/2005	
		POLEA CONDUCTORA		Escala:	No especificada	
Material:		6061-T6	Estado:	Laminado	Dureza:	HBN 95
Diseño:		Rafel Gómez Ayala	Revisó:	Ing. Juan R. Rodríguez Bello	No. parte:	ECVT - 02
					No. dibujo:	002



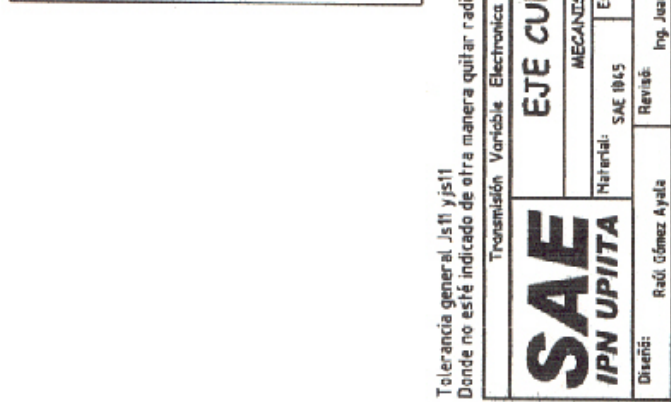
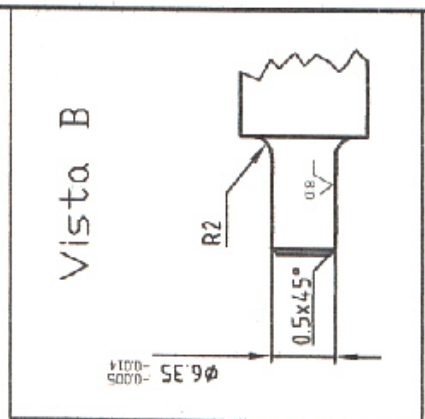
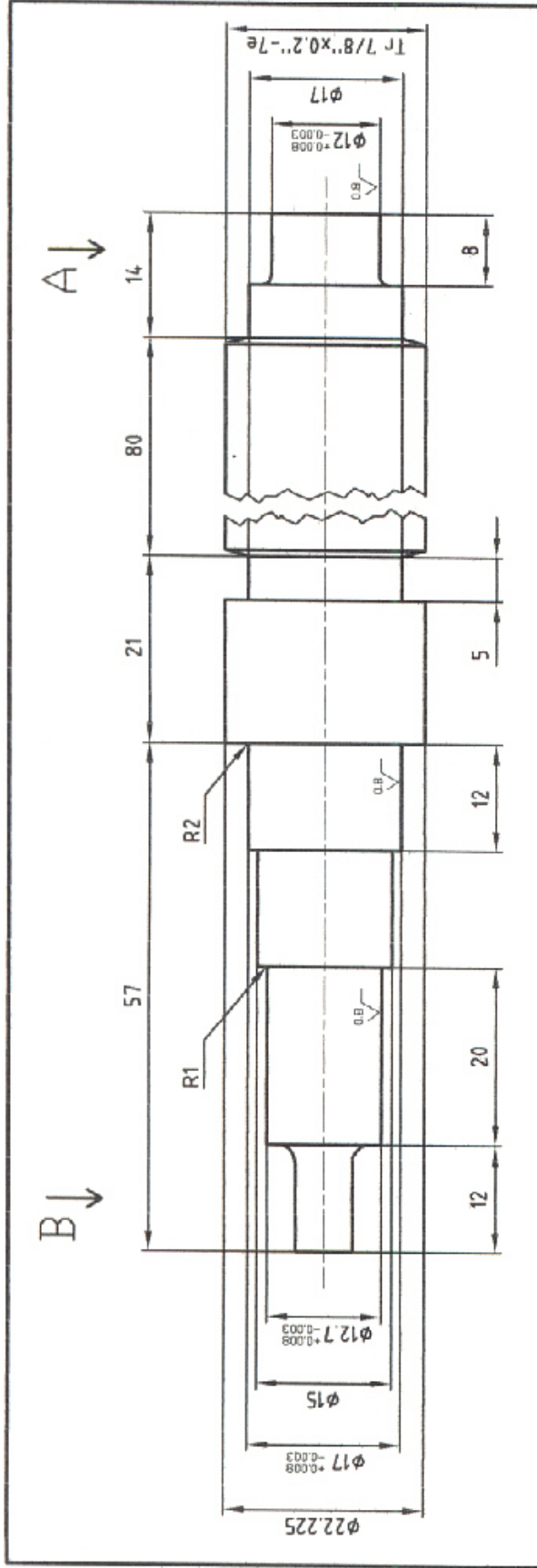
Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

SAE		EJE ESTRIADO		Fecha: 22/ junio/2005		Dib. No.:	
IPN UPIITA		POLEA CONDUCTORA		Ejecite: No especificada		Anotación:	
Diseño: Raúl Gómez Ayala		Material: SAE 5140		Tratamiento T: Templado		Dureza: HBN 340	
Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Bella		Estado: Recortado		No. parte: ECVI - 03		No. dibujo: 003	
Transmisión Variable Electronica para vehiculos tipo Mini Baja							



Tolerancia general: Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

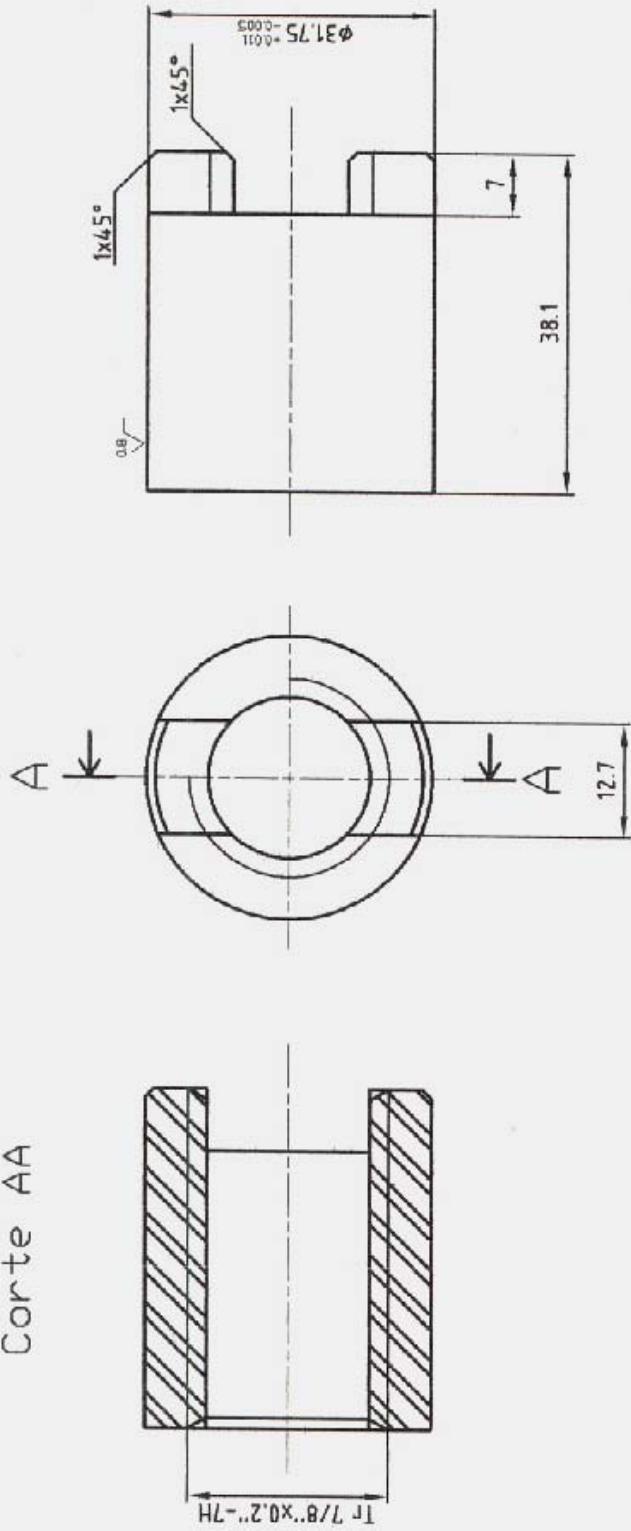
SAE IPN UPITA		CORREDERA		Fecha: 22/junio/2005		Dib. No.	
Diseño: Raúl Gómez Ayala		POLEA CONDUCTORA		Escala: No especificada		Anotación:	
Revisión: Ing. Juan R. Rodríguez Bello		Estadío: Recocido		Tratamiento T: Templado		Dureza: HBN 310	
No. parte: ECVT - 04		No. dibujo: 004		No. parte: ECVT - 04		No. dibujo: 004	



Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con $R=0.2$

Transmisión Variable Electrónica para vehículos tipo Mini Baja		Fecha: 22/junio/2005	Dibujó: [Logo]
SAE EJE CUERDA		Escala: No especificada	Acotación: mm
IPN UPIITA		Material: SAE 1045	Estado: Reto en frío
Diseño: Raúl Gómez Ayala		Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Balla	Tratamiento T: Ninguno
			Dureza: HBN 250
			No. parte: ECVT - 05
			No. dibujo: 005

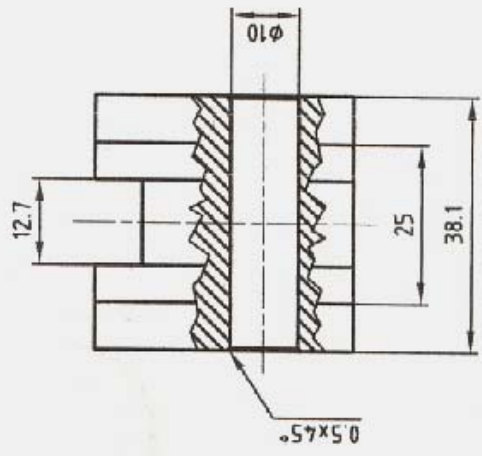
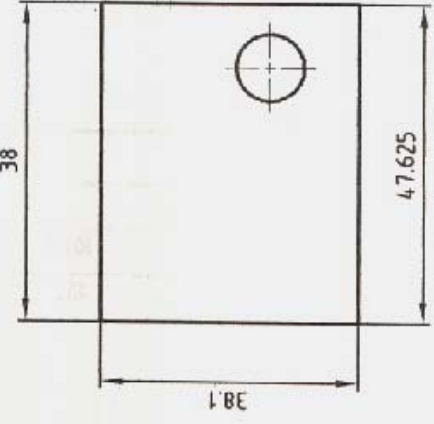
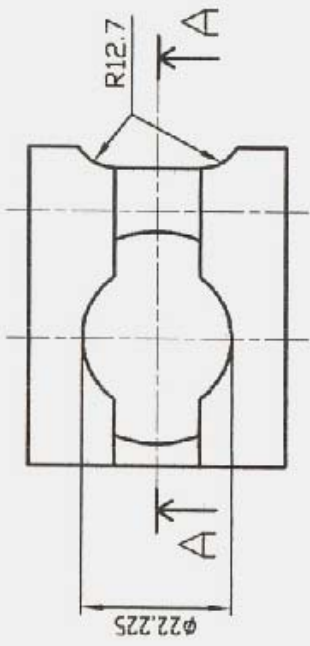
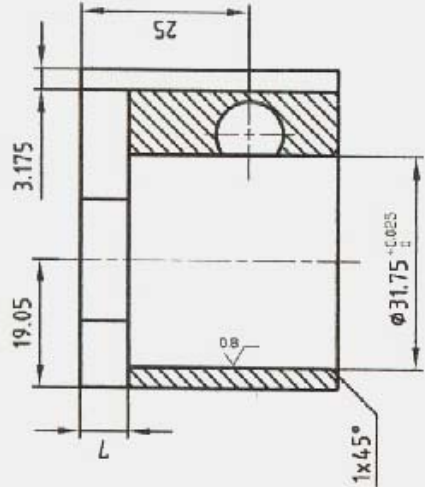
Corte AA



Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

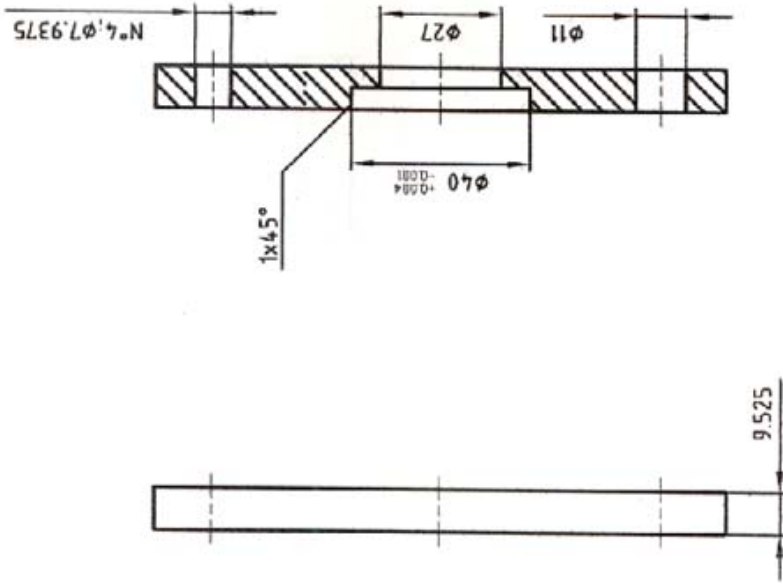
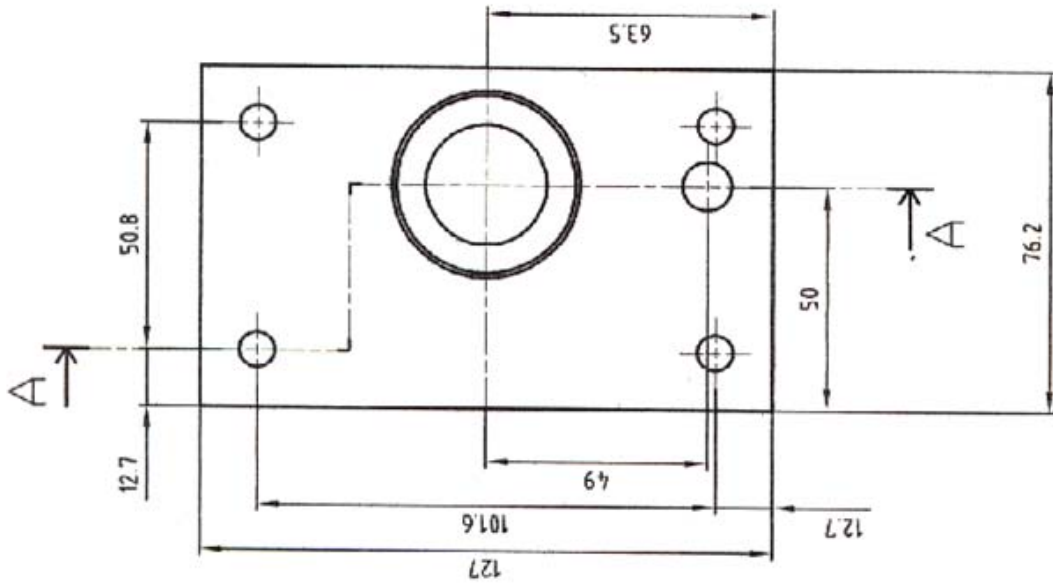
Transmisión		Vehículo		Electronica para vehiculos tipo Mini Bojo	
SAE	IPN UPITA	TUERCA		Fecha:	22/Junio/2005
		MECANISMO		Escala:	No especificada
Material:		BRONCE	Estado:	PRELUBRICADO	Dureza:
Diseño:		Rafel Gómez Ayala	Revisó:	Ing. Juan R. Rodríguez Bello	No. parte:
					ECVT - 06
					No. dibujo:
					006

Corte AA



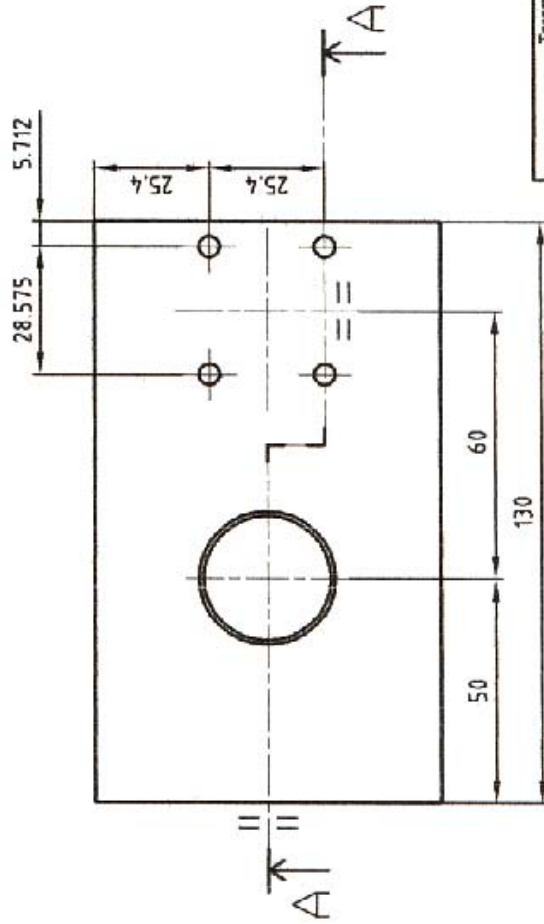
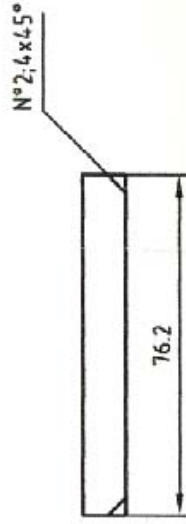
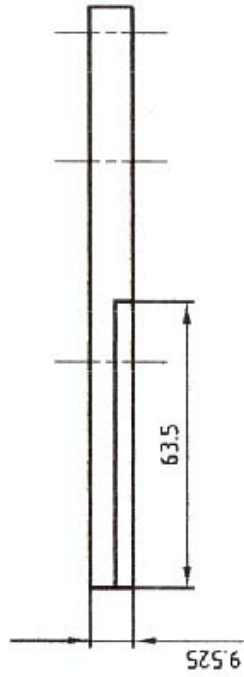
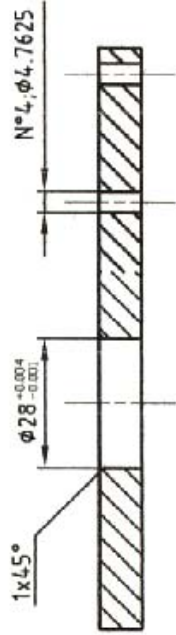
Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

SAE IPN UPIITA		Transmisión Variable Electrónica para vehículos tipo Mini Bolo	
		Fecha: 22/June/2005	Dibujo:
Material: 4083-T5		Escala: No especificada	
Estado: Extruido		Tratamiento T: Ninguno	
Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Bello		No. parte: ECVT - 07	
Diseñó: Raúl Gómez Ayala		No. dibujo: 007	



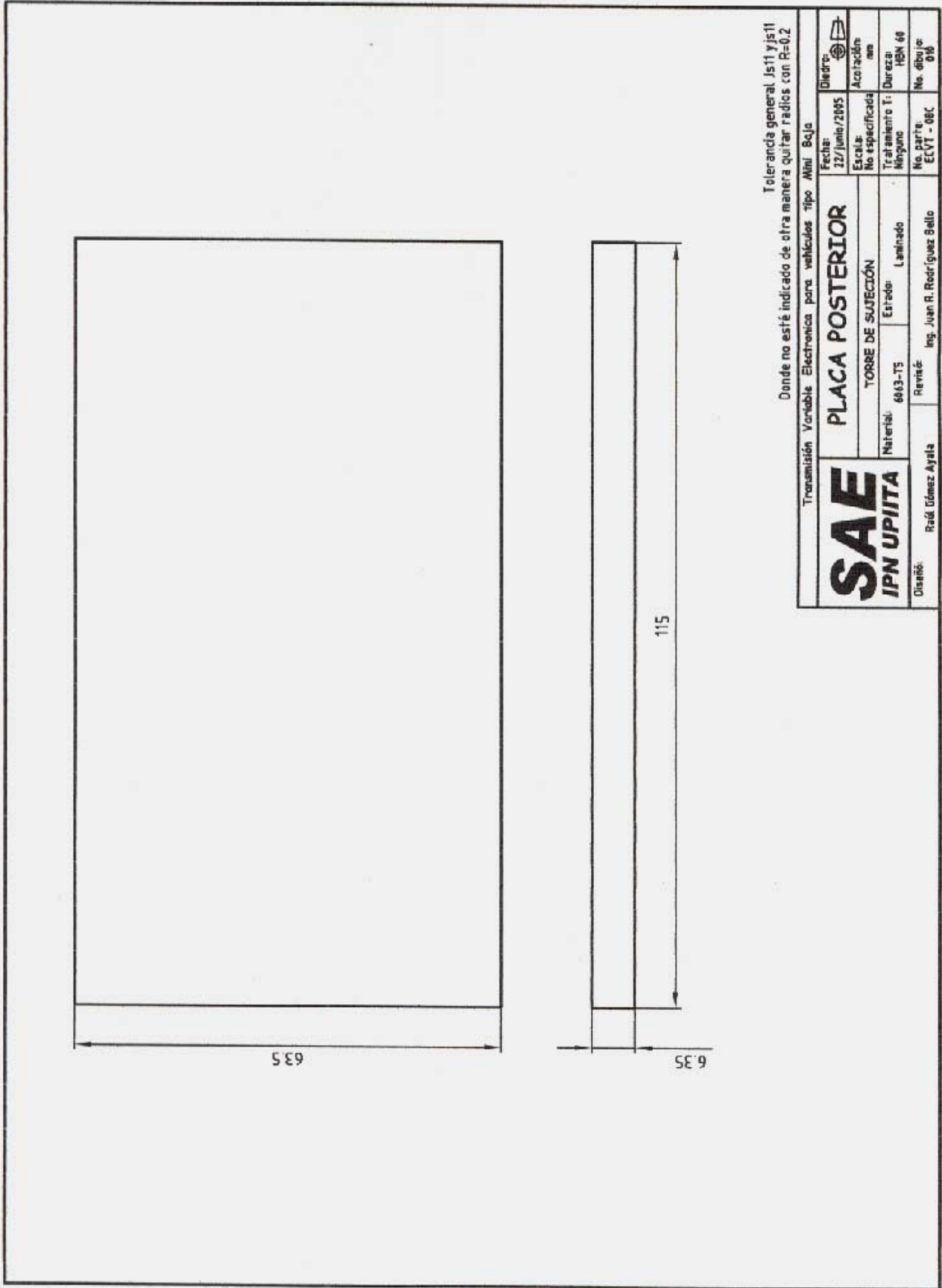
Tolerancia general Jst11 y Jst11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión Variable Electrónica para vehículos tipo Mini Bcjo		Fecha: 22/junio/2005	Dib. No. 2395
SAE IPN UPITA		PLACA INFERIOR TORRE DE SUJECCIÓN	
		Material: 6613-T5	Estado: Laminado
Diseño: Raúl Gómez Ayala	Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Bello	Escala: No especificada Tratamiento T: Ninguno Dureza: HBW 60 No. de Dibujo: ECVT - 09A	



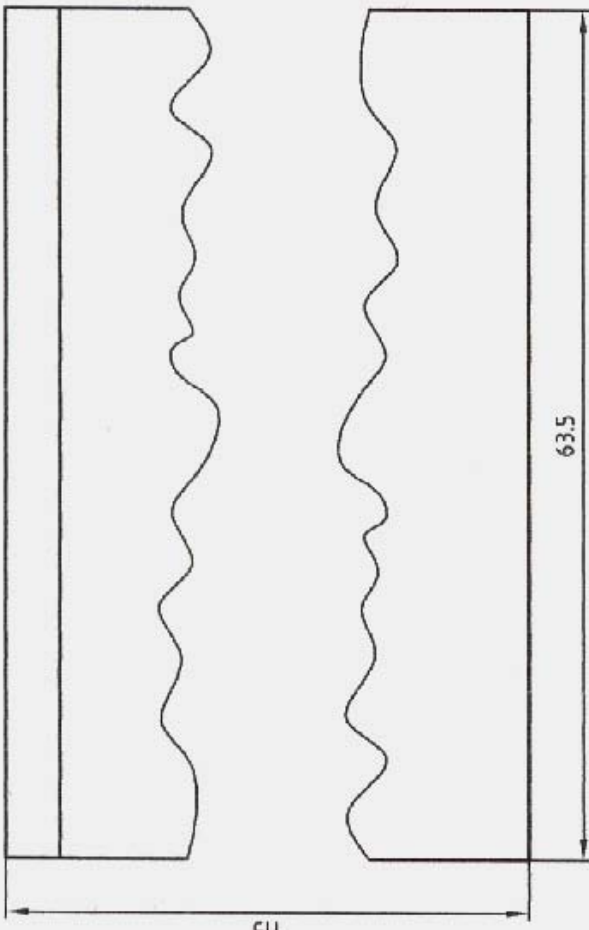
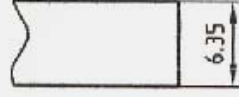
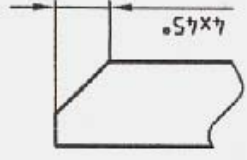
Tolerancia general: Js 11 y js 11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión Variable Electronica para vehiculos tipo Mini Beje		Fecha: 22/junio/2005	Dib. No.:
SAE		Escala: No especificada	Acotación: mm
IPN UPITA		Material: 6063-T5	Tratamiento T: Ninguno
Diseño: Raúl Gómez Ayala		Estado: Laminado	Dureza: HBN 60
Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Belis		No. parte: ECVT - 088	No. dibujo: 089
PLACA SUPERIOR		TORRE DE SUJECIÓN	



Tolerancia general Js11 y js11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

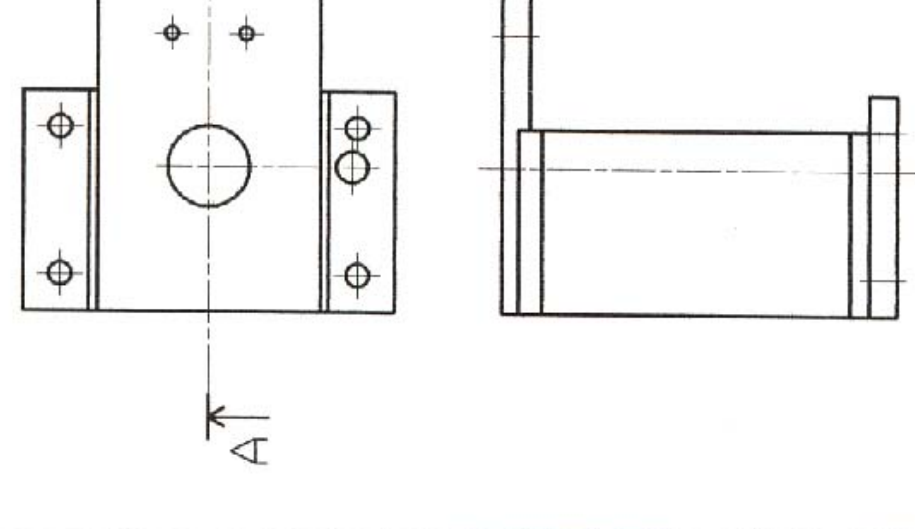
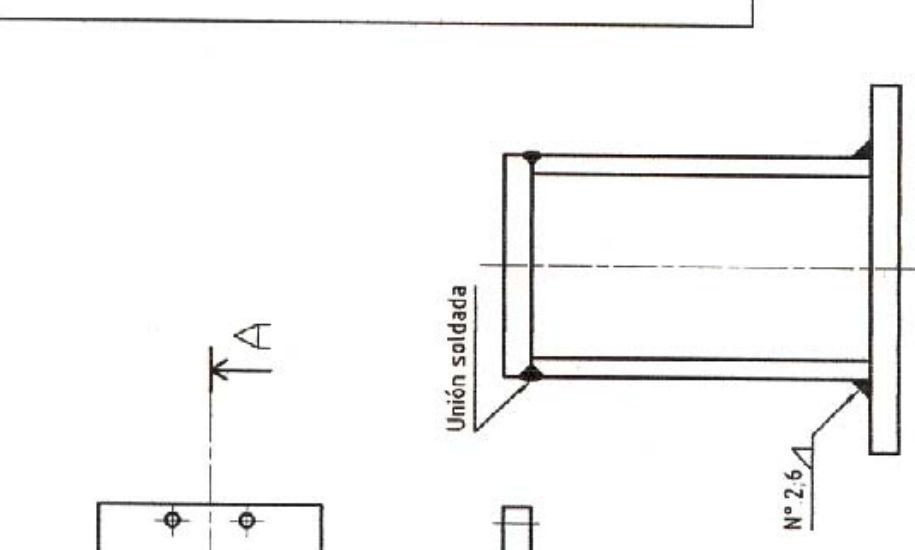
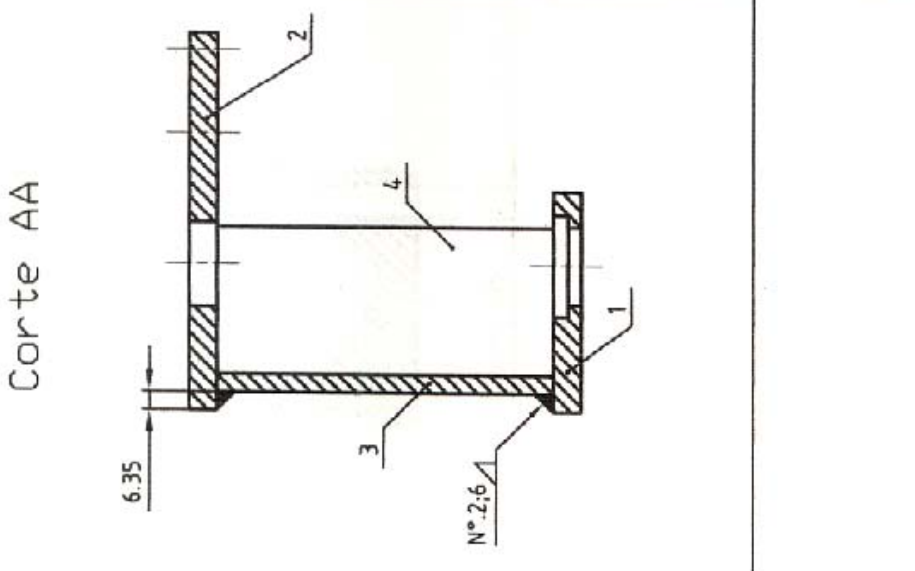
Transmisión Variable Electrónica para vehículos tipo Mini Boja		Fecha: 22/Junio/2005	Dibujó:
SAE IPN UPITA		PLACA POSTERIOR	
		TORRE DE SUJECCIÓN	
Materia: 6063-T5	Estado: Laminado	Escala: No especificada	Acotación: mm
Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Sello	Diseño: Raúl Gómez Ayala	Tratamiento T: Ninguno	Dureza: HB4 40
		No. parte: ECVI - 06C	No. dibujo: 010



Tolerancia general Js11 y i11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión Variable Electronica para vehiculos tipo Mini Boja		Fecha: 22/junio/2005	Dib. No.:
PLACA LATERAL		Escala: No especificada	Acotación: mm
TORRE DE SUJECIÓN		Trazado T: Ninguno	Dureza: HBR 60
Materia: 6063-T5	Estado: Laminado	No. parte: CCVT - 080	No. dibujo: 011
Diseño: Raúl Gómez Ayala	Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Bello		

SAE
IPN UPIITA

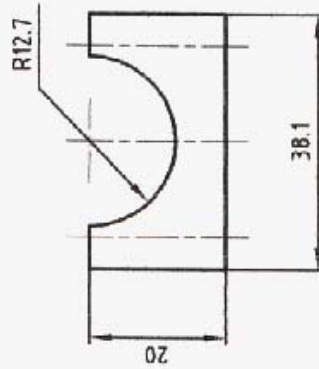
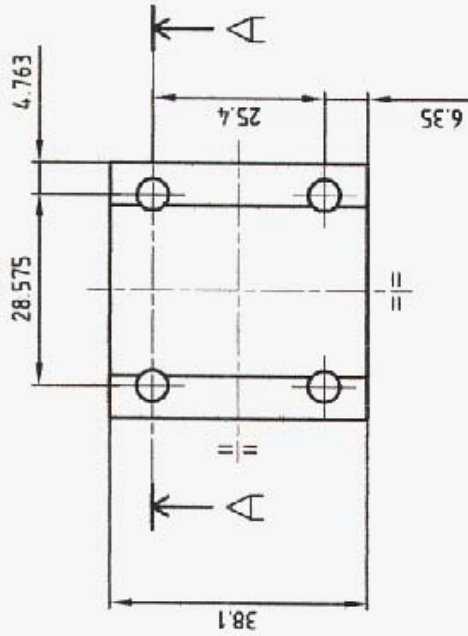
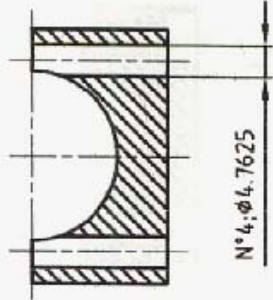


Tolerancia general JS11 y JS11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

Transmisión	Variable	Electronica	para	vehiculos	tipo	Mini	Baja										
SAE																	
TORRE DE SUJECIÓN																	
Fecha:	22/junio/2005																
Escala:	No especificada																
Trazado:	Ninguno																
Material:	6063-T5	Estado:	Laminado														
Diseño:	Raf. Gómez Ayala			Revisó:	Ing. Juan R. Rodríguez Bello												
<table border="1"> <tr> <td>Diámetro:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acotación:</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Dureza:</td> <td>HBM 60</td> </tr> <tr> <td>No. parte:</td> <td>ECVT - 08</td> </tr> <tr> <td>No. dibujo:</td> <td>012</td> </tr> </table>								Diámetro:		Acotación:	mm	Dureza:	HBM 60	No. parte:	ECVT - 08	No. dibujo:	012
Diámetro:																	
Acotación:	mm																
Dureza:	HBM 60																
No. parte:	ECVT - 08																
No. dibujo:	012																

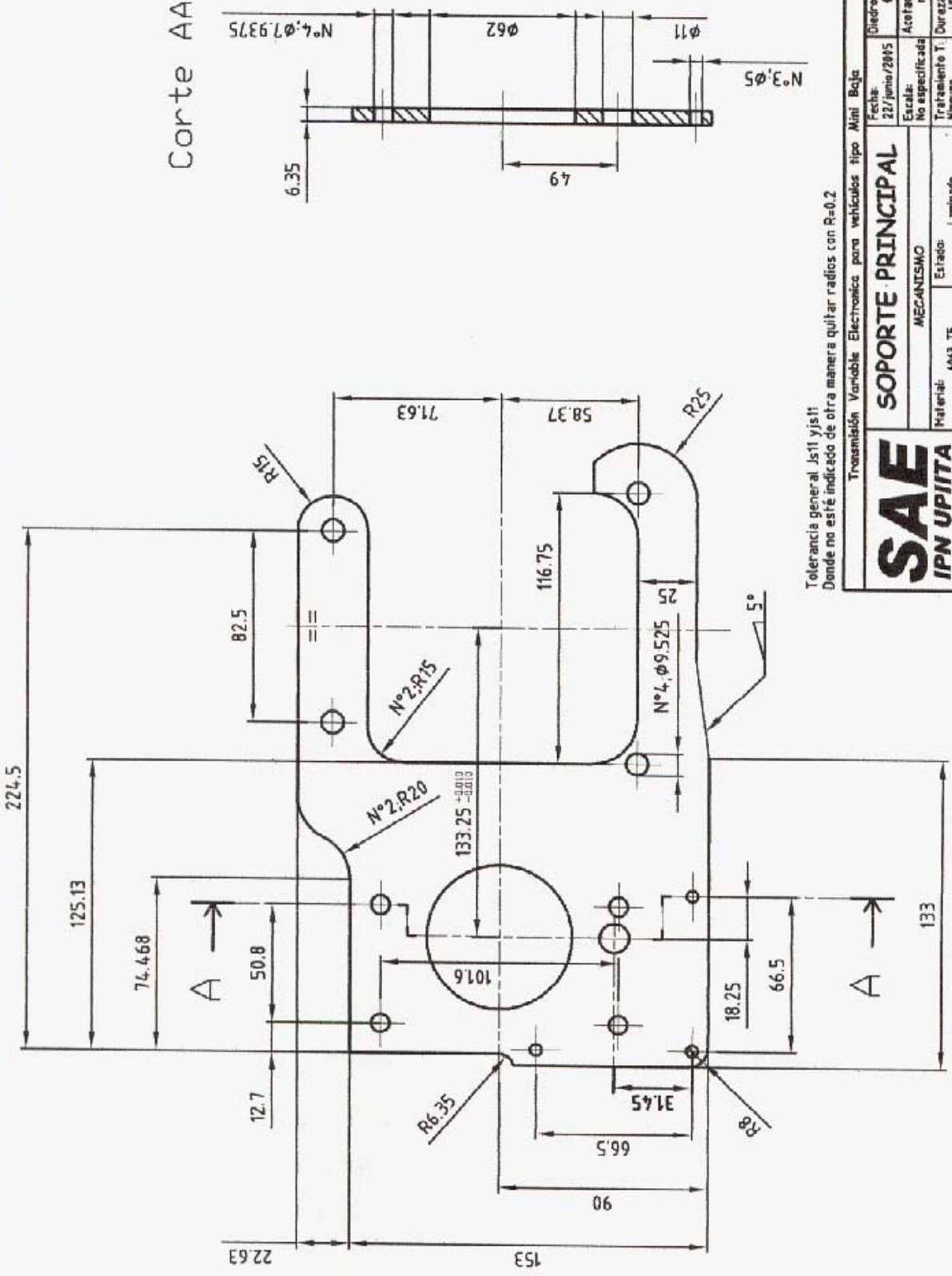
PZA.	DESCRIPCION	CANT.	MATERIAL	No. PARTE	OBSERVACIONES
4	Placa Lateral	2	6063 - T5	ECVT-08D	
3	Placa Posterior	1	6063 - T5	ECVT-08C	
2	Placa Superior	1	6063 - T5	ECVT-08B	
1	Placa Inferior	1	6063 - T5	ECVT-08A	

Corte AA



Tolerancia general Js11 yjs11
 Donde no esté indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

SAE IPN UPITA		Transmisión Variable Electronica para vehiculos tipo Mini Baja		Fecha: 22/junio/2005 Escala: No especificada Tratamiento T: Ninguno	Dibujo: Acotación: mm Dureza: HBx 60 No. dibujo: ECVI - 09
		Diseño: Raúl Gómez Ayala Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Bello	Material: 6063-T5 Estado: Extrudido	BASE S.H. SOPORTE HORQUILLA	No. parte: ECVI - 09



Tolerancia general Js11 yjs11
 Donde no este indicado de otra manera quitar radios con R=0.2

SAE		SOPORTE PRINCIPAL	
IPN UPIITA		MECANISMO	
Material: 6063-T5	Estado: Laminado	Fecha: 22/ junio/2005	Dibujo: 015
Diseño: Raúl Gámez Ayala	Revisó: Ing. Juan R. Rodríguez Sello	Escala: No especificada	No. parte: ECVT - 12
		Tratamiento T: Ninguno	Dureza: HBN 60
		Transmisión: Variable Electronica para vehiculos tipo Mini Baja	

BIBLIOTECA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

- (Alonso,1999) J. M. Alonso “Electromecánica de vehículos. Sistemas de transmisión y frenado” 3ª/ed., Ed. Paraninfo, Madrid, 1999, p.p. 55 a 60
- (Beer,1997) Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston Jr. “Mecánica vectorial para ingenieros, Estática”, Ed. Mc Graw-Hill, México, 1997, p.p. 429 a 430
- (Faires,1995) Virgil M. Faies “Diseño de elementos de máquinas” Ed. Limusa, México, 1995, p.p. 575 a 581, 595 a 596
- (Font,2001) José Font Mezquita, Juan F. Dols Ruiz, “Tratado sobre automóviles” Tomo 1, Ed. Alfaomega, México, 2001, p.p. 6.1 a 6.10
- (Liljedahl,1984) Joan B. Liljedahl, Walter M. Carleton, Paul K. Turnquist, David W. Smith “Tractores, diseño y funcionamiento”, Ed. Limusa, México, 1984, p.p. 261 a 267
- (Marks,1995) Eugene A. Avallone, Theodore Baumeister III “Marks, Manual del ingeniero mecánico” 9ª/ed., Tomo 1, Ed. Mc Graw-Hill, México, 1995, p.p. 3-31 a 3-32.
- (Mott,1995) Robert L. Mott “Diseño de elementos de máquinas” 2ª/ed., Ed. Prentice Hall, México, 1995, p.p. 530 a 538
- (Mott,1996) Robert L. Mott “Mecánica de fluidos aplicada” 4ª/ed., Prentice may, México, 1996
- (Norton,1984) Joan B. Liljedahl, Walter M. Carleton, Paul K. Turnquist, David W. Smith “Tractores, diseño y funcionamiento”, México, 1984, Ed. Limusa, p.p. 261 a 267
- (Ogata,1998) Katsuhiko Ogata, “Ingeniería de Control Moderna” Prentice Hall, México, 1998
- (Spotts,1999) M. F. Spotts, T. E. Shoup “Elementos de máquinas” 7ª/ed., Ed. Prentice Hall, México, 1999, p.p. 326 a 334
- Briggs & Stratton, “Internacional Engines”, Milwaukee, 2003
- Briggs & Stratton, “Repair Manual for Intek Single Cylinder OHV Engines”, Milwaukee, 2003
- FAG, Catálogo 41500/2 SE, FAG Interamericana, Miami, 1979
- “GAL22V10 Datasheet”, Lattice
- “LMD18200 Datasheet”, National Semiconductors
- “PIC 16F87XA Datasheet”, MicroChip
- <http://www.cvt.com.sapo.pt/performances/formula.htm>
- <http://www.rpmoutlet.com/formula.htm>