# UNIVERSIDAD DEL AZUAY

## FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

# Diseño y construcción de elementos de transmisión con dientes rectos para una caja de cambios (Datsun 1200)

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**


**Autores:**

**VÍCTOR VICENTE QUEVEDO ZALAMEA**

**ENRIQUE XAVIER TIRADO MATUTE**

**Director:**

**HERNÁN ARTURO VITERI CERDA**



**CUENCA, ECUADOR**

**2016**

## DEDICATORIA

A mis abuelos, padres, hermanas, hermanos políticos y familiares por el apoyo y confianza siempre brindando

**Víctor Vicente Quevedo Zalamea**

A Dios por permitirme finalizar esta etapa de mi vida, a mi familia que es un pilar fundamental en momentos difíciles, a mis padres y hermanos por todo el apoyo brindado para alcanzar este logro.

**Enrique Xavier Tirado Matute**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Ing. Hernán Viteri por la colaboración, dedicación y el aporte de sus conocimientos brindados durante la realización de este proyecto.

A los Ingenieros: Francisco Torres y Daniel Cordero; los Tecnólogos: Aníbal Jiménez, Luis Tapia y Ángel Jácome quienes nos han transmitido sus conocimientos y han colaborado durante la realización de las pruebas.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA……...…ii

AGRADECIMIENTOS……...iii

ÍNDICE DE CONTENIDOS……...iv

ÍNDICE DE FIGURAS……..viii

ÍNDICE DE TABLAS…….xi

ÍNDICE DE ANEXOS…….....xiv

RESUMEN……....xvi

ABSTRACT…….xvii

INTRODUCCIÓN……..1

**CAPÍTULO I: CAJA DE CAMBIOS DE VELOCIDADES**……..4

1.1. Cadena de transmisión…….5
1.2. Clasificación de las cajas de cambios……..6
1.2.1. Caja de cambios manual……6
1.3. Constitución de la caja de cambios……..8
1.3.1. Eje intermediario……...9
1.3.2. Eje secundario……...…9
1.3.3. Grupo sincronizador……10
1.3.4. Rodamientos……..……..11
1.3.5. Carcasa……12
1.4. Materiales para la fabricación de engranes……13
1.5. Tratamientos térmicos……...15
1.5.1. Cementación……15
1.6. Transformación de engranes de dientes helicoidales a rectos……...16

1.7. Dinámica del vehículo……...19
1.7.1. Eficiencia y Velocidad……21
1.7.2. Dinámica de una caja de cambios……...24
1.7.3. Escalonamiento Geométrico……...25
1.7.4. Escalonamiento Progresivo……25
1.8. Análisis de fuerzas en engranes……27
1.8.1. Fuerzas y ángulos de engranes rectos……27
1.8.2. Fuerzas y ángulos de engranes helicoidales……28
1.9. Datos Técnicos del manual de Datsun……...29
1.9.1. Motor A12 Datsun 1200 modelos B110……..……..29
1.9.2. Caja de cambios F4W56……29
1.9.3. Diferencial y neumático……..31
1.9.4. Dimensiones……31

**CAPÍTULO II: DISEÑO DE ENGRANES**……...32

2.1. Potencia del motor……32
2.1.1. Análisis de fuerzas en engranes helicoidales……..34
2.1.2. Trasformación de engranes helicoidales a rectos……35
2.1.2.1. Módulo……35
2.1.2.2. Distancia entre centros……35
2.1.3. Diámetros de los engranes……...36
2.1.4. Análisis de fuerzas en engranes rectos……36
2.2. Ecuaciones para el diseño de engranes……..37
2.2.1. Relación de transmisión……..37
2.2.2. Esfuerzo AGMA……37
2.3. Análisis de dinámica de la caja de cambios……..45
2.3.1. Escalonamiento……...45
2.3.2. Cálculo del tiempo teórico de recorrido……..46
2.4. Análisis del eje……...46
2.4.1. Eje primario……46
2.4.1.1. Cálculo del torque……50
2.4.1.2. Propiedades del material del eje……..51

2.4.1.3. Análisis por la teoría de Goodman Modificado……..51
2.4.1.4. Esfuerzos fluctuantes……...52
2.4.2. Eje secundario…….56
2.4.2.1. Cálculo de torque…….60
2.4.2.2. Propiedades del material del eje……..60
2.4.2.3. Análisis utilizando la teoría de Goodman Modificado……61
2.4.2.4. Esfuerzos fluctuantes……...61
2.5. Rodillos……..64
2.5.1. Eje primario…….66
2.5.1.1. Rodamiento 3305…….66
2.5.1.2. Rodamiento 6206…….66
2.5.2. Eje Secundario…….67

**CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN**……...68

3.1. Planos de construcción..……68
3.2. Proceso de construcción……68
3.2.1. Hojas de trabajo……...68
3.2.2. Evidencias del proceso de construcción …..……...69
3.2.2.1. Engrane número 10……..69
3.2.2.2. Engrane número 9……69
3.2.2.3. Engrane número 8……70
3.2.2.4. Engrane número 7……70
3.2.2.5. Eje secundario y engranes……...71
3.2.3. Proceso de tratamiento térmico……...71
3.2.3.1. Cementación……72
3.3. Ensamblaje de la caja…….73

**CAPÍTULO IV: PRUEBAS DE LOS ENGRANES RECTOS**…….**.....**74

4.1. Dureza del material……74
4.2. Prueba metalográfica……76

4.3. Prueba dinamométrica...……79
4.3.1. Norma SAEJ 1349……...79
4.3.2. Alcance……79
4.3.3. Factores que utiliza la norma……..79
4.3.4. Ecuaciones para la corrección de motores encendidos por chispa…..80
4.3.5. Potencia……...80
4.3.6. Análisis de Velocidad y tiempo……..83
4.4. Prueba SAEJ1491……..83
4.4.1. Lineamiento……83
4.4.2. Alcance……84
4.4.3. Propósito……..84
4.4.4. Tiempo de respuesta de aceleración……84
4.4.5. Velocidad……84
4.4.6. Medición……..84
4.4.7. Condiciones para la prueba……84
4.4.8. Prueba……..84
4.4.8.1. Velocidad y tiempo……..85
4.5. Análisis de velocidad y tiempo obtenido……...85
4.6. Prueba de Aceite……90
4.6.1. Informe……92

**CONCLUSIONES**……..……..……..94

**RECOMENDACIONES**..…….……..…….96

**BIBLIOGRÁFIA**……..……97

**ANEXOS**……...……...100

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de transmisión……..5

Figura 1.2 Engranajes de dientes rectos……7

Figura 1.3 Engranes de diente helicoidales de ejes Paralelos……...8

Figura 1.4 Constitución de la caja de cambios…….8

Figura 1.5 Elementos del grupo sincronizador……...10

Figura 1.6 Acoplamiento especial de los sincronizadores……..11

Figura 1.7 Rodamientos de bolas……12

Figura 1.8 Carcasa de la caja de cambios……...12

Figura 1.9 Esfuerzo admisible según norma AGMA acero templado total……14

Figura 1.10 Esfuerzo admisible para aceros templados……..15

Figura 1.11 Proceso de cambio de propiedades después de la cementación……..16

Figura 1.12 Descripción del módulo aparente y real……..17

Figura 1.13 Diagrama de torque y potencia……20

Figura 1.14 Esquema de entrada y salida de elementos……..22

Figura 1.15 Escalonamiento geométrico…….26

Figura 1.16 Escalonamiento progresivo…….26

Figura 1.17 Fuerzas en engranes rectos……..28

Figura 1.18 Fuerzas en engrane helicoidal…….29

Figura 1.19 Caja de cambios F4W56……..30

Figura 1.20 Dimensiones de Datsun 1200……..31

Figura 2.1 Ciclos de conducción UDDS…….41

Figura 2.2 Escalonamiento entre caja de engranes rectos y helicoidales……...45

Figura 2.3 Esquema de eje primario……...46

Figura 2.4 Diagrama de cuerpo libre (eje primario)……...47

Figura 2.5 Diagrama de momento flector máximo (eje primario)……..49

Figura 2.6 Esquema del eje secundario……...56

Figura 2.7 Diagrama de cuerpo libre……..57

Figura 2.8 Diagrama de momento flector máximo (eje secundario)……..59

Figura 3.1 Fresado de engrane 10……...69

Figura 3.2 Fresado de engrane 9……69

Figura 3.3 Fresado de los dientes rectos...……..70

Figura 3.4 Material en bruto……...70

Figura 3.5 Desbaste de material……..71

Figura 3.6 Eje secundario, desbastado de material……71

Figura 3.7 Fresado del eje secundario……72

Figura 3.8 Ensamblaje de la caja de cambios……73

Figura 4.1 Medición de dureza (engrane rectos).……...75

Figura 4.2 Mediciones de dureza (engranes helicoidales)……..75

Figura 4.3 Probeta para el estudio metalográfico……...76

Figura 4.4 Ataque químico……76

Figura 4.5 Microestructura……..77

Figura 4.6 Zona de Cementación…..……..78

Figura 4.7 Zona de microestructura original…..……..79

Figura 4.8 Diferencia de potencia entre la caja de engranes rectos y helicoidales.....82

Figura 4.9 GPS Vbox……..85

Figura 4.10 Velocidad en un mismo tiempo…….....86

Figura 4.11 Vel. Máx. Primera marcha……..……..87

Figura 4.12 Vel. Máx. Segunda marcha…….....88

Figura 4.13 Vel. Máx. Tercera marcha……...……89

Figura 4.14 Duración hasta los 100km/h …….....90

Figura 4.15 Muestras de aceite a las que se realizaron las pruebas…..……...91

Figura 4.16 Informe de las muestras de aceite ……..…..……...93

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de los Hierros Nodulares……..9

Tabla 1.2 Datos del vehículo……...30

Tabla 1.3 Datos técnicos de la caja de cambios……31

Tabla 2.1 Presión y temperatura de la ciudad de Cuenca……33

Tabla 2.2 Potencia efectiva del motor……..33

Tabla 2.3 Fuerzas tangenciales……34

Tabla 2.4 Fuerza radial.……...34

Tabla 2.5 Fuerza axial…….35

Tabla 2.6 Número de dientes calculados para engranes rectos……35

Tabla 2.7 Diámetros primitivos……...36

Tabla 2.8 Fuerzas tangenciales en engranes rectos……..36

Tabla 2.9 Fuerza radial en engranes rectos……..37

Tabla 2.10 Relación de transmisión…….37

Tabla 2.11 Factor de sobrecarga……..38

Tabla 2.12 Factor $K_v$……39

Tabla 2.13 Constantes empíricas A, B y C……..40

Tabla 2.14 Factor $Y_N$ y $Z_N$……42

Tabla 2.15 Factor J……..43

Tabla 2.16 Factor I.……...43

Tabla 2.17 Factor de seguridad……44

Tabla 2.18 Velocidades de caja con engranes rectos……45

Tabla 2.19 Tiempo de recorrido……...46

Tabla 2.20 Reacciones en apoyo……..48

Tabla 2.21 Fuerzas resultantes de los apoyos……...48

Tabla 2.22 Momento flector……49

Tabla 2.23 Momento flector resultante……50

Tabla 2.24 Torque máximo y mínimo en cada marcha……50

Tabla 2.25 Características y propiedades del material de construcción del eje……51

Tabla 2.26 Esfuerzos máximos y mínimos……..51

Tabla 2.27 Esfuerzos fluctuantes en el eje primario……52

Tabla 2.28 Esfuerzos cortantes en el eje primario……54

Tabla 2.29 Esfuerzos efectivos en el eje primario……54

Tabla 2.30 Reacciones en apoyo……..58

Tabla 2.31 Fuerza resultante de los apoyos……..58

Tabla 2.32 Momento flector……59

Tabla 2.33 Momento flector resultante……60

Tabla 2.34 Torque máximo y mínimo (eje secundario)……...60

Tabla 2.35 Características y propiedades del material de construcción del eje……60

Tabla 2.36 Esfuerzos fluctuantes en el eje primario……61

Tabla 2.37 Esfuerzos cortantes en le eje primario…..……62

Tabla 2.38 Esfuerzos efectivos en el primario……63

Tabla 2.39 Velocidad angular en cada marcha……65

Tabla 2.40 Tiempos de operación de cada marcha……...65

Tabla 4.1 Ensayo de dureza……74

Tabla 4.2 Potencia obtenida en el banco dinamométrico (UDA)……81

Tabla 4.3 Velocidad y tiempo……..83

Tabla 4.4 Velocidad máxima alcanzada……..86

Tabla 4.5 Primera marcha……..……..87

Tabla 4.6 Segunda marcha……...88

Tabla 4.7 Tercera marcha……89

# ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- Coeficiente de resistencia a la rodadura…..……..100

ANEXO 2.-Calidad del material……...101

ANEXO 3.- Factor $Y_n$……102

ANEXO 4.- Factor $Z_N$..……103

ANEXO 5.- Factor de Yj……..…….104

ANEXO 6.- Factor de confiabilidad……..105

ANEXO 7.- Catálogo de BOHLER…..……..106

ANEXO 8.- Acabado superficial para el eje..……107

ANEXO 9.- Factor de tamaño……...108

ANEXO 10.- Factor de temperatura para el eje……...109

ANEXO 11.- Factor de confiabilidad……110

ANEXO 12.- Factor $K_t$…….111

ANEXO 13.- Rodamiento 3305……112

ANEXO 14.- Vida Nominal……113

ANEXO 15.- Rodamiento 6206……114

ANEXO 16.- Rodamiento 6304……115

ANEXO 17.- Planos de construcción……116

ANEXO 18.- Factura del material y tratamiento térmico……...125

ANEXO 19.- Banco dinamométrico prueba de engranes helicoidales…….126

ANEXO 20.- Banco dinamométrico prueba de engranes rectos……..…….136

ANEXO 21.- Norma SAEJ1491……146

ANEXO 22.- Prueba de pista caja de engranes helicoidales……..154

ANEXO 23.- Gráficas de performance box tolos (caja de engranes helicoidales)…161

ANEXO 24.- Prueba de pista caja de engranes rectos……166

ANEXO 25.- Gráficas de performance box tolos (caja de engranes rectos)…….172

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN CON DIENTES RECTOS PARA UNA CAJA DE CAMBIOS (DATSUN 1200)

## RESUMEN

La modificación de los engranes tiene la finalidad de mejorar el rendimiento y reducir las pérdidas de velocidad ocasionadas por la transmisión; inicialmente se determinó la relación de transmisión de la caja original; estableciendo sus parámetros de funcionamiento; posteriormente se calculó la nueva relación con el propósito de aumentar la velocidad final del vehículo; finalmente, mediante las pruebas realizadas a la caja modificada se obtuvo un aumento de velocidad del 11.3%, potencia del 11.5%, reduciendo el tiempo de funcionamiento en 11.39 segundos con respecto a la caja original. Según la norma SAEJ 1491 se determinó que el tiempo de operación se optimizó en 2.3 segundos.

**Palabras Clave**: engranes rectos, relación de transmisión, dinámica, diseño, velocidad.

Hernán Arturo Viteri Cerda

**Director del Trabajo de Titulación**

Diego Francisco Torres Moscoso

**Director de la Escuela**

Víctor Vicente Quevedo Zalamea

Enrique Xavier Tirado Matute

**Autores**

# DESIGN AND CONSTRUCTION OF STRAIGHT-CUT TEETH TRANSMISSION ELEMENTS FOR A GEARBOX (DATSUN 1200)

## ABSTRACT

The modification of gears aims to improve performance and reduce speed losses caused by the transmission. First, the original box transmission ratio was determined, setting its operating parameters. Then, the new relationship is calculated with the purpose of increasing the vehicle's final speed. Finally, through the testing performed to the modified gearbox, it was possible to obtain 11.3% rate increase, and 11.5% power; consequently, reducing the operating time in 11.39 seconds with respect to the original gearbox. According to the SAEJ 1491 standard, it was determined that the operation time was optimized in 2.3 seconds.

**Keywords:** Spur Gears, Gear Ratio, Dynamics, Design, Speed.

Hernán Arturo Viteri Cerda
**Thesis Director**

Diego Francisco Torres Moscoso
**School Director**

Víctor Vicente Quevedo Zalamea

Enrique Xavier Tirado Matute

**Authors**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
Dpto. Idiomas

Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Enrique Xavier Tirado Matute

Víctor Vicente Quevedo Zalamea

Trabajo de Titulación

Ing. Hernán Arturo Viteri Cerda. Msc.

Septiembre, 2016

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN CON DIENTES RECTOS PARA UNA CAJA DE CAMBIOS (DATSUN 1200).

## INTRODUCCIÓN

La potencia y velocidad son parámetros importantes en un vehículo, éstos tienen influencia de varios factores como: el motor, sistema de transmisión, suspensión, aerodinámica, entre otros más. Este estudio analizó el sistema de transmisión, exclusivamente la caja de cambios en un vehículo de prueba Datsun 1200 que posee originalmente una caja de engranes helicoidales.

En el capítulo I, se describió la cadena de trasmisión; así como, los elementos y partes que posee la caja de velocidades con sus distintas características de construcción y funcionamiento. Se analizó la modificación teórica de los engranes helicoidales a engranes rectos, manteniendo las condiciones de diseño. En el capítulo II, mediante la geometría de la caja (distancia entre ejes), se estableció un módulo de 2.5 mm que satisface los parámetros de diseño y construcción de la caja modificada; consiguiendo de esta manera una reducción del tiempo teórico; el cuál se verifico por medio de la dinámica del vehículo. En el capítulo III, se realizó la construcción de los elementos de transmisión mediante las especificaciones obtenidas anteriormente; para lo cual, se elaboraron las hojas de trabajo que indican las operaciones realizadas en cada elemento y los planos indicados en los anexos. Para la construcción de los engranes rectos se utilizó un acero BOHLER AISI 8620 con un tratamiento térmico de cementación.

Finalmente en el capítulo IV, se realizaron pruebas de la dureza del material y estudios metalográficos del tratamiento térmico con la finalidad de determinar la microestructura del material; además, se realizaron pruebas en el banco dinamométrico de la Universidad del Azuay en base a la norma SAEJ 1349, obteniendo un incremento de potencia del 10.31%, una velocidad máxima de 128.2 Km/h, aumentando en 21.52 km/h en 36.69 segundos. Se realizó la prueba de aceleración SAEJ 1491 en la caja de engranes helicoidales, demoró en llegar a los valores establecidos por la norma en 15.9 segundos; mientras que la caja de engranes rectos demoró 12.3 segundos. Estas pruebas comparan el rendimiento entre cajas; posterior a estas se envió el aceite a la empresa Swissoil para determinar el grado de contaminación por desgaste.

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir elementos de transmisión con dientes rectos para una caja de cambios.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar las características que posee la caja de cambios en el ámbito teórico como práctico mediante manuales.
- Diseñar los engranajes rectos de acuerdo a los datos recopilados.
- Construir engranajes rectos de acuerdo al diseño.
- Realizar pruebas tanto iniciales como finales.

## METODOLOGÍA

Inicialmente usamos el método de investigación bibliográfica, en el buscamos información de la realización del análisis dinámico en el vehículo, diseño de una caja de cambios y demás información que se requiera; además al realizar la investigación en un vehículo determinado marca Datsun, recopilamos información de manuales del vehículo, datos técnicos entre otros más. Posteriormente se usará un método analítico, el cual nos servirá para realizar un análisis dinámico del vehículo, análisis del sistema de transmisión de engranes helicoidales y diseño de la caja de engranes rectos. Consecutivamente se utiliza un método científico de acuerdo al diseño, se procederá a la fabricación y aplicación de un tratamiento térmico a los elementos elaborados que compondrán el nuevo sistema de transmisión; a continuación se procederá al montaje en el vehículo de los elementos construidos para la caja de cambios. Finalizando usaremos un método de investigación experimental realizando pruebas metalúrgicas a los engranajes de dientes rectos construidos; además se realizarán pruebas de funcionamiento en un banco dinamométrico y pruebas dinámicas según la norma SAEJ1491 y generar nuevos datos, manteniendo los parámetros iniciales; además se enviará el aceite que se usó en la caja de cambios a un laboratorio en el cual se detallará el estado del mismo luego de su funcionamiento y un análisis de los resultados obtenidos al inicio y al final del proyecto.

# CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

Este capítulo realiza una descripción teórica de los elementos de la caja de cambios, su constitución, materiales, diseño y datos técnicos del vehículo; con la finalidad de entender la importancia de cada uno de ellos; así como, su necesidad durante el funcionamiento al formar el conjunto de transmisión. Lo más significativo durante el desarrollo de esta sección es la determinación del diseño y dinámica de los engranes.

## Caja de cambios de velocidades

Si el motor entregara toda la potencia directamente hacia las ruedas, las resistencias al movimiento impedirían el desplazamiento del vehículo y la potencia suministrada por el motor sería insuficiente; por lo que, el mecanismo encargado de:

- Iniciar el movimiento, requiere que el rango de giro del motor, varíe entre un 30% al 40% de sus revoluciones máximas para iniciar y mantener el movimiento del vehículo
- Vencer las resistencias que se oponen al avance tales como:

  Resistencia al rodamiento: es la fricción que se ocasiona por el peso que reposa en cada rueda y la superficie que está en contacto con el suelo.

  Resistencia por la pendiente: depende del ángulo de inclinación de la calzada por la que está circulando el vehículo y su peso.

  Resistencia a la inercia: depende de la velocidad a la cuál circula el vehículo

  Resistencia aerodinámica: es la fuerza del viento que se opone al movimiento, depende de las condiciones climáticas y el diseño del vehículo.

- Reducir el número de revoluciones del motor entregado a la caja de cambios: mediante la relación de transmisión que desmultiplica el régimen de giro que proporciona el motor, que se logra mediante las marchas, obteniendo que la relación de transmisión sea menor a 1

- Reducir el par motor, se produce cuando la relación de transmisión es mayor a 1
- Invertir el sentido de giro de las ruedas, mediante el piñón loco.

**1.1 Cadena de transmisión.-** Conjunto de elementos que transmiten la potencia y el torque del motor hacia las ruedas, en la figura 1.1 muestra la cadena de transmisión.

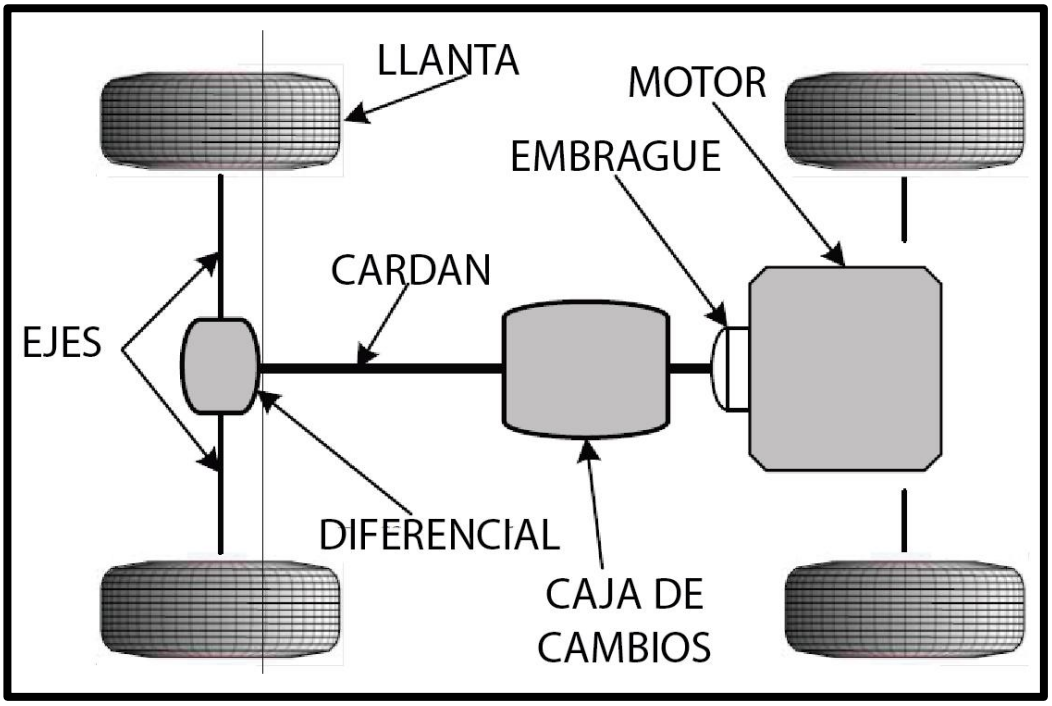



Figura 1.1 Esquema de transmisión

Fuente: (Jazar, 2008)

"Motor: Es la fuente de energía en la línea de conducción. La salida del motor es un par motor, en una velocidad del motor asociado.

Embrague: Se conecta y desconecta del motor al resto de la línea de transmisión cuando el vehículo está equipado con una caja de cambios manual.

Cardán: Se conecta a la caja de cambios con el diferencial. No existe en motores delanteros con tracción delantera.

Diferencial: Es una relación de la caja de cambios de transmisión constante que permite que las ruedas motrices tenga diferentes velocidades; por lo que, se puede manejar el coche en una curva." (Jazar, 2008)

**1.2 Clasificación de las cajas de cambios.-** Existen distintos tipos de cajas de cambios; así como, distintas maneras de agruparlas. La clasificación más utilizada es:

- Caja de cambios manuales
- Caja de cambios semiautomáticas
- Caja de cambios automáticas.

**1.2.1 Caja de cambios manuales.-** Denominada así por su selección de marchas, que lo realiza el conductor en el interior de la cabina, por medio de una palanca de cambios.

Existen dos tipos:

- Transversales: Se ubican junto con el motor alojados debajo del capot y diseñadas para una tracción delantera.
- Longitudinales: Se ubican en el centro del vehículo y están diseñadas para una propulsión trasera.

Los engranes que se encuentra dentro de la caja de cambios se puede clasificar por:

- Engranes rectos
- Engranes helicoidales.

**Engranes rectos.-** Son engranajes cilíndricos paralelos a su eje de rotación; tal como se observa en la figura. 1.2; utilizados para transmitir potencia y movimiento entre los ejes, el movimiento de éstos permite que los dientes (piñón-engrane) se dé de forma lineal a lo largo de la cara, esta línea de acción es paralela al eje, produce mayor ruido por el impacto del diente del impulsor en el flanco del diente impulsado, su uso es muy común para transmitir velocidades altas; así como medias.

En la actualidad se los usa principalmente para la marcha de reversa ya que es capaz de transmitir un mayor torque con respecto a las marchas que utilizan engranajes helicoidales.

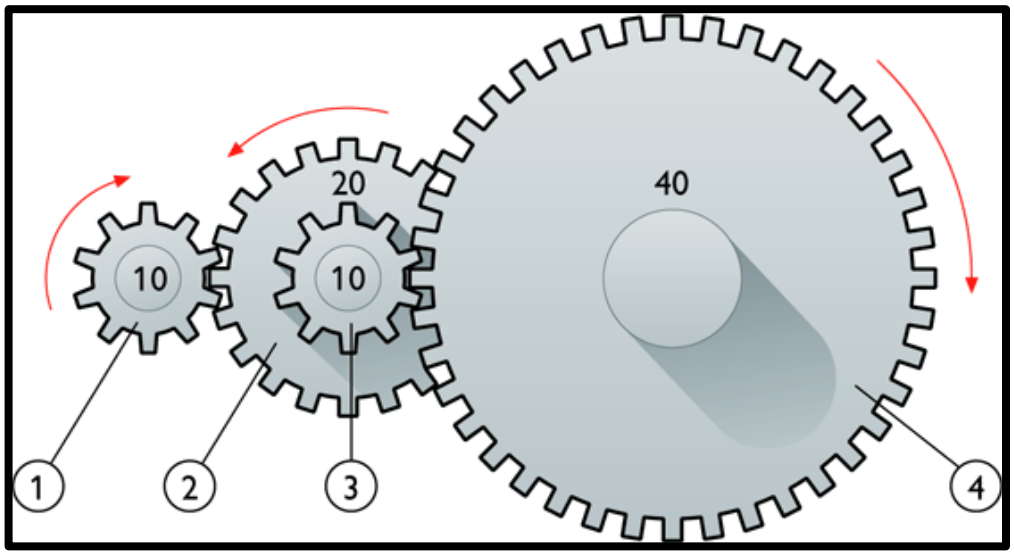



Figura 1.2 Engranaje de Dientes Rectos

Fuente: (Proyectos Educación Tecnológica, s.f.)

En la fig. 1.2 se muestra cómo los engranes ayudan a multiplicar o desmultiplicar la velocidad y el torque siendo el caso de 1 con 2 el aumento de potencia y la reducción de la velocidad mientras que si tomamos 4 con 3 es el caso opuesto.

**Engranes helicoidales.-** Utilizados para transmitir el movimiento de un eje hacia otro, a diferencia de los engranes rectos, constan de una inclinación en sus dientes o ángulo hélice que según el diseño puede ser derecho o izquierdo, y se pueden montar en ejes que no sean paralelos entre sí. Según (Basso, 2007): "Se inicia el contacto en un extremo del diente barriendo a todo lo ancho de la cara del diente, este tipo de engranaje opera con mayor silencio y menor vibración, en comparación a los rectos debido al contacto gradual entre dientes".

Van conectados en pares como lo muestra la figura 1.3; y por lo general tienen el mismo ángulo de hélice, pero sus dientes van en sentido contrario. Tienen un acoplamiento gradual con un número de dientes que, por lo general son dos los que permanecen en contacto: uno que está entrando y otro que está saliendo; con lo que se consigue un funcionamiento más suave y silencioso, en comparación con los engranajes rectos.

Figura 1.3 Engranajes de Dientes Helicoidales de Ejes Paralelos

Fuente: (wikimedia, 2015).

**1.3 Constitución de la caja de cambios.-** La caja de Cambios manual está conformada de distintos elementos que se indican en la figura 1.4.

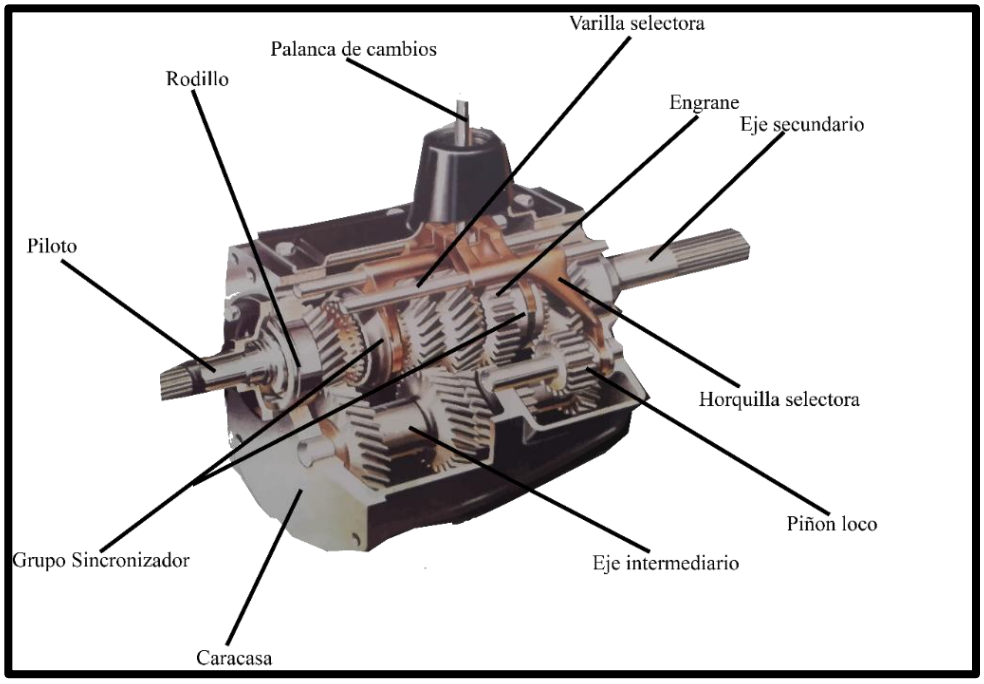



Figura 1.4 Constitución de la Caja de Cambios

Fuente: (CODESIS)

El árbol es un elemento de máquinas habitualmente de sección transversal circular, que soporta pares de torsión y transmiten potencia, utilizado para sostener piezas que

giran solidariamente. Su material de construcción por lo general es acero SAE 3140, 4140, 4340, 3150, 5140, 1340, 1350 y 8650; se los denomina aceros aleados con rango de dureza entre los 45 A 55 HRC que poseen buena resistencia mecánica.

**1.3.1 Eje Intermediario.-** Formado por un solo cuerpo, que se acopla tanto al piñón del piloto como a los engranes del árbol secundario para transmitir el movimiento según la necesidad de la marcha; pero girando en sentido contrario al motor. Su material de construcción es de hierro nodular o hierro fundido por la facilidad que presenta para su construcción, ver tabla 1.1.

Tabla 1.1 Características de los Hierros Nodulares

| | Grado ASTM | Dureza (HB) | Esfuerzo de la cadencia (MPa) | Deformación (%) | Resistencia a la tensión (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Ferritico** | 60-40-18 | 143-187 | 276 | 18 | 414 |
| **Ferritico-perlitico** | 80-55-06 | 379 | -- | 6 | 552 |
| **Perlitico** | 100-70-03 | -- | 483 | 3 | 690 |
| **Martensitico (con austenita retenida)** | DQ&T | -- | -- | | 600 |
| **Martensita templada** | 1050-700-7 | 302-363 | 700 | 7 | 1050 |
| **Austemperizado** | 1600-1300 | 444-555 | 1300 | | 1600 |
| **Austemperizado** | -- | -- | -- | -- | 310 |
| **Austenitico** | -- | -- | -- | -- | -- |

Fuente: (Acosta Esqueda , Martinez Madrid, & Lopez, 2000)

**1.3.2 Eje secundario.-** Transmite el movimiento de salida hacia el cardán, está apoyado en rodamientos ubicados tanto en la carcasa como en el piloto por medio de una canastilla. Aloja a los engranajes conducidos y al grupo

sincronizador, que permiten la selección de la marcha. Los materiales a utilizar son similares a los del eje del piloto.

**1.3.3 Grupo sincronizador.-** Regula la velocidad de giro entre dos engranajes antes que se acoplen para transmitir el movimiento; constan de un cubo estriado (4), un collarín (3), anillos de fricción (2), chavetas y resortes radiales (5) y el piñón helicoidal (1) como se observa en las figuras 1.5 y 1.6.

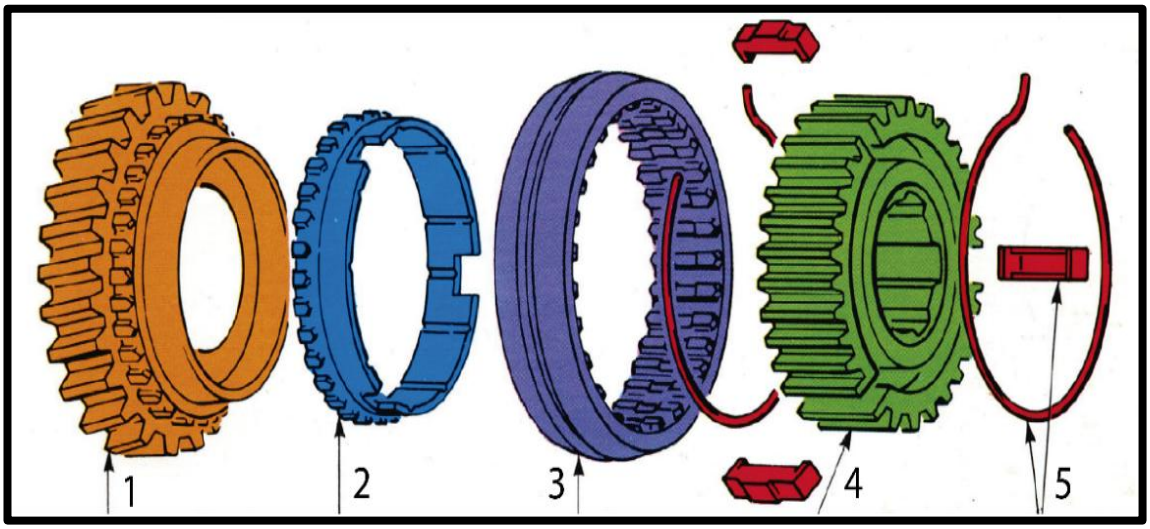



Figura 1.5. Elemento del grupo sincronizador

Fuente: (iesmontilivi.net, s.f.)

El cubo estriado aloja a las chavetas en unas ranuras labradas entre sus dientes externos, las cuales están sostenidas por los resortes radiales; todo este sistema encaja en el collarín, centrándose de una manera especial como se observa en la figura 1.6.

El cubo encaja en el eje secundario por medio de su estriado interno manteniéndose fijo y solidario; el anillo de fricción fabricado de bronce forjado encaja conjuntamente con las chavetas y mediante su superficie cónica en el engranaje; los dientes externos encajan en los dientes internos de collarín permitiendo transmitir el movimiento de la marcha seleccionada.

Figura 1.6. Acoplamiento especial de los sincronizadores
Fuente: (Nuñez, 2014)

**1.3.4 Rodamientos.-** Ubicados en la carcasa de la caja de cambios, estos alojan a los árboles de transmisión que producen fuerzas durante su funcionamiento; mismo que son absorbido por los rodamientos formando un movimiento más armónico, los utilizados para la caja de cambios son:

- De bolas
- De rodillos cónicos
- De rodillos cilíndricos.

El buen funcionamiento de éstos depende de manera especial de la lubricación, si es deficiente se presentará un excesivo desgaste, debiendo reemplazarlos prematuramente por nuevos rodamientos como los mostrados en la figura 1.7; si son requeridos.

Figura1.7. Rodamientos de bolas

Fuente: (Suministros Industriales Rifà, 2015)

El material base es el acero, que requiere aleaciones de cromo- carbono, cromo-níquel o cromo magnesio; según la aplicación se realizan tratamiento, ya sea por temple, inducción o cementación para mejor su resistencia; obteniendo su dureza en un rango entre 58 a 65 HRC.

**1.3.5 Carcasa.-** Aloja a los elementos que componen la caja de cambios; así como, el aceite que ayuda a la lubricación de sus componentes; en la parte delantera se encuentra todo el sistema de embrague que ayudan a la selección de las marchas. Es elaborada de aluminio embutido para reducir su peso de manera que no incida en el desempeño del vehículo como se muestra en la figura 1.8.

Figura1.8 Carcasa de la Caja de Cambios

Fuente: (Educa Madrid Mediateca, 2008)

**1.4 Materiales para la fabricación de engranes.-** Existe una gran variedad de materiales tanto metálicos como no metálicos que son usados para la fabricación de engranes, en las propiedades de cada uno de ellos se debe tomar en cuenta:

- Resistencia que el material ofrece con respecto a las cargas máximas
- Resistencia a la picadura que se presenta durante el funcionamiento
- Ductilidad para la elaboración
- Peso al final de la elaboración del conjunto
- Resistencia a la corrosión
- Ruido que generará durante su funcionamiento
- Costo de producción.

Para un adecuado funcionamiento se requiere una elección apropiada de los materiales, los más usados para la construcción de los engranes son:

- **Hierro fundido.-** Es muy usado para fabricar engranajes debido a:
    - Bajo Costo
    - Facilidad de vaciado
    - Buena Maquinabilidad
    - Alta resistencia al desgaste
    - Abatimiento al ruido.

  Uno de sus mayores defectos es que no tiene una buena resistencia a la tensión; por lo que, los dientes del engrane se vuelven débiles a la flexión teniendo que compensarlo con una mayor altura. Dentro del hierro fundido existe el hierro nodular con aleaciones de magnesio y cerio, su resistencia a la tensión es muy alta y retrasa el desgaste.

- **Aceros.-** Se usan para fabricar engranajes para maquinaria con la finalidad de reducir la velocidad de las mismas; por lo general tienen un máximo del 2,11% de carbón dentro de su constitución. El intervalo de dureza Brinell (HB) para estos materiales está entre 180 a 400 HB según AGMA; así como, la resistencia a la tensión entre 87 a 200 Kpsi; además, su endurecimiento no debe sobrepasar los

400HB, que es el rango normal para engranes que se encuentran en funcionamiento continuo como lo detalla la figura 1.9.

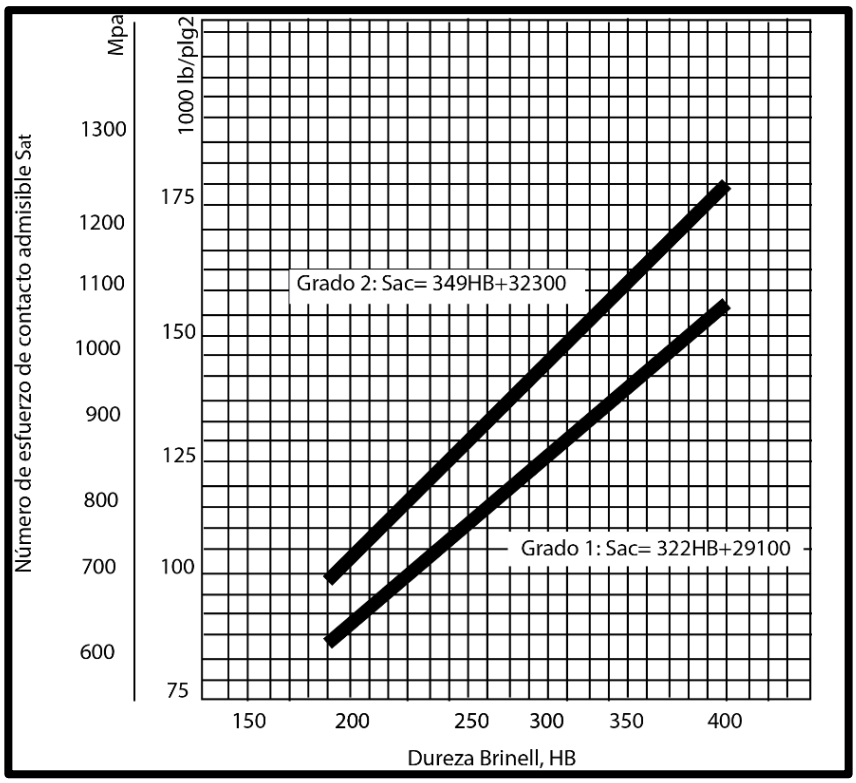



Figura1.9. Esfuerzo admisible según norma AGMA acero templado total.
Fuente: (Robert, 2006)

- **Aceros Templados.-** Tienen una dureza muy alta en la parte superficial del engranaje; lo que es de gran ayuda para que el engranaje funcione a altas revoluciones; esta dureza se logra aplicando un tratamiento térmico; que por lo general son: por cementación, por inducción, por llama y por nitruración; los valores que obtenemos con estos tratamientos son de 50 a 64 HRC, como lo muestra la figura 1.10.

- **Bronce.-** Tiene una excelente resistencia a la corrosión, bajos coeficientes de fricción; así como, su desgaste es mínimo debido a sus condiciones.

  Los más comunes son los de: bronce fosfórico, bronce de estaño y bronce de aluminio; aunque la mayoría de estos, son bronces colados, otros se los obtiene por forja.

| | Numero de esfuerzo flexionante admisible $S_{ut}$ (ksi) | | | Numero de esfuerzo de contacto admisible $S_{ac}$ (ksi) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dureza en la superficie** | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 |
| **Templado por llama o por inducción** | | | | | | |
| **50HRC** | 45 | 55 | | 170 | 190 | |
| **54HRC** | 45 | 55 | | 175 | 195 | |
| **Cementado y Templado** | | | | | | |
| **55-64 HRC** | 55 | | | 180 | | |
| **58 – 64 HRC** | 55 | 65 | 75 | 180 | 225 | 275 |
| **Aceros templado totales y nitrurados** | | | | | | |
| **83.5 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 150 | 163 | 175 |
| **83.5 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 155 | 168 | 180 |
| **Nitrurados, nitralloy 135M** | | | | | | |
| **87.9 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 170 | 183 | 195 |
| **90.0 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | | | |
| **Nitrurados, nitralloy N** | | | | | | |
| **87.5 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 172 | 188 | 205 |
| **90.0 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | | | |
| **Nitrurados, 2.5% de cromo (sin aluminio)** | | | | | | |
| **87.5HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 155 | 172 | 189 |
| **90.0 HR15N** | Vea la figura 9-15 | | | 176 | 196 | 216 |

Figura1.10. Esfuerzos admisibles para aceros templados

Fuente: (Robert, 2006).

**1.5 Tratamientos térmicos.-** Existen distintos tipos de tratamientos térmicos que se usan para lograr el endurecimiento de los engranajes como: la cementación y la nitruración.

**1.5.1 Cementación.-** Conocida como: carburación; tiene como principal objetivo fortalecer el engranaje o pieza que se encuentra sometido a este tratamiento sin realizar variación alguna al centro del elemento. Cuando se lo realiza, se expone el elemento a un cemente, el cual tiene una concentración elevada de

carbono; mismo que penetrará en la pieza a razón de 0,2 mm por cada hora, ganando de esta manera las mejores resistencias en los engranes o elementos a tratar como demuestra la figura. 1.11; los valores están entre 55 a 64 HRC, misma que generalmente se puede conseguir en los aceros especiales; así como, en los endurecidos totalmente, entre los cuales tenemos:

- Aceros para cementación al carbono
- Aceros para cementación al cromo níquel
- Aceros para cementación al cromo molibdeno
- Aceros para cementación al cromo níquel molibdeno.

De acuerdo al espesor del diente, se alcanza una profundidad segura de cementación; en la cual la medición de la dureza deberá ser de 50 HRC.

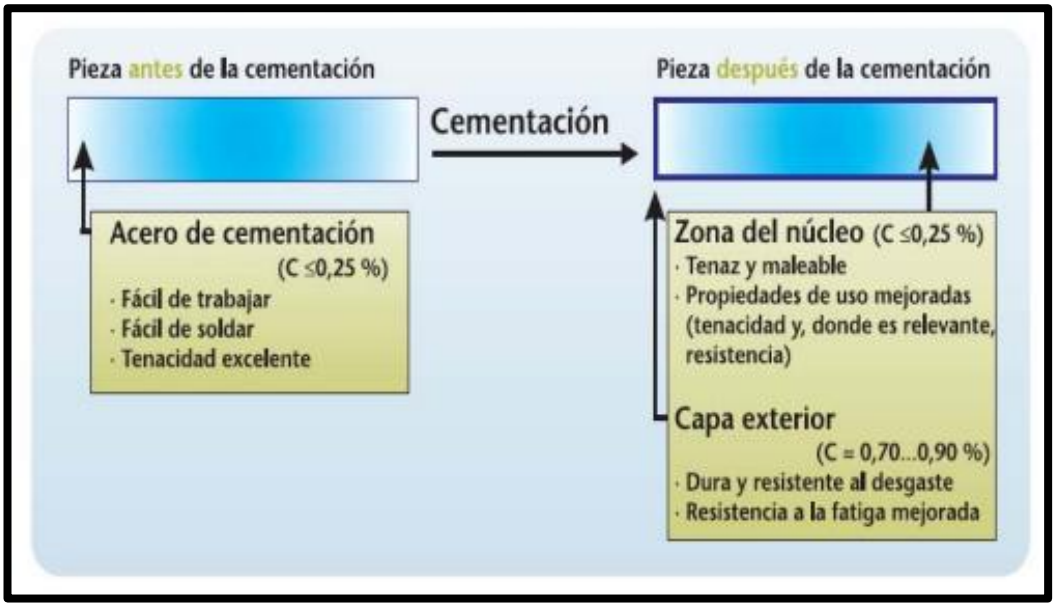



Figura 1.11. Proceso de cambio de propiedades después de la cementación.

Fuente: (word press, 2008).

**1.6 Transformación de engrane de diente helicoidal a recto**.- La construcción y diseño de estos engranes es diferente; por lo que, el módulo al momento de su elaboración no va a ser el mismo y por ende sus medidas van a ser alteradas.

Por la inclinación del engrane helicoidal tiene las siguientes diferencias:

Según (Másmela) "Tiene un módulo aparente $(Ma)$, es el módulo medido según un plano perpendicular al eje de rotación, y MÓDULO NORMAL o real es medido en una sección normal a la hélice trazada en el cilindro primitivo". La nomenclatura usada para el módulo real o normal es $(Mr)$; mientras que el engrane recto posee un solo módulo se le nombra con la letra $(m)$. Las ecuaciones para obtener estos módulos son las siguientes:

$$Ma = \frac{Dp}{N} = \frac{Mn\ x\ N}{\cos\beta} \tag{1.1}$$

$$Mr = \frac{Dp\cos\beta}{N} \tag{1.2}$$

$$m = \frac{Dp}{N} \tag{1.3}$$

Siendo N el número de dientes, Dp el diámetro primitivo y β descrita a continuación.

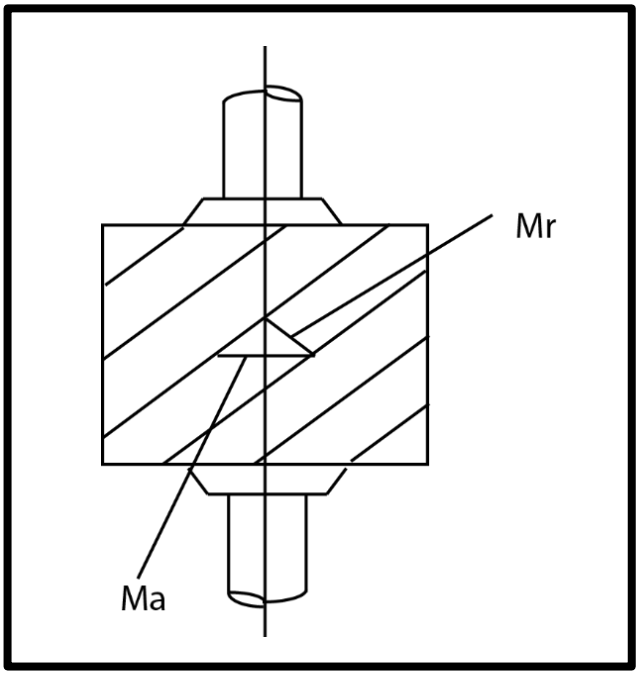



Fig. 1.12. Descripción del módulo aparente y real.

Fuente: (Másmela)

Según (Barahona , 2015) "Lo más característico de un engranaje cilíndrico helicoidal es la hélice que forma, siendo considerada la hélice como el avance

de una vuelta completa del diámetro primitivo del engranaje. De esta hélice deriva el ángulo β que forma el dentado con el eje axial; este ángulo tiene que ser igual para las dos ruedas que engranan pero, de orientación contraria; uno a la derecha y el otro a izquierda. Su valor se establece a priori de acuerdo con la velocidad que tenga la transmisión, los datos orientativos de este ángulo son los siguientes":

Velocidad lenta: β = (5º - 10º),

Velocidad normal: β = (15º - 25º)

Velocidad elevada: β = 30º"

Donde

$$\tan \varphi = \pi \frac{Dp}{H} \cos \beta \tag{1.4}$$

$$\tan \beta = \frac{\tan \emptyset}{\cos \varphi} \tag{1.5}$$

Siendo $\varphi$ el ángulo hélice, H la altura del diente, Dp el diámetro primitivo y ∅ el ángulo de presión.

El engrane recto tiene un solo ángulo que es el de presión. Un factor en común que debe ser constante en los engranajes para su transformación y construcción es la distancia entre ejes. Esta ecuación es igual para los tipos de dientes:

$$c = \frac{Dp1 + Dp2}{2} \tag{1.6}$$

En engranes rectos la ecuación para el diámetro primitivo es:

$$Dp = m\ x\ N \tag{1.7}$$

Para engranes helicoidales:

$$Dp = Mr \frac{N}{\cos \beta} = Ma\ x\ N \tag{1.8}$$

La distancia del centro del engrane helicoidal $(c_h)$ debe ser igual que la distancia de centros del engrane recto $(c_r)$:

$$c_r = c_h \tag{1.9}$$

Por lo tanto

$$\frac{Dp1_r + Dp2_r}{2} = \frac{Dp1_h + Dp2_h}{2}$$

$$\frac{m\ x\ N1_r + m\ x\ N2_r}{2} = c_h$$

$$m\ x\ N1_r + m\ x\ N2_r = 2c_h \tag{1.10}$$

La ecuación para transformar el modulo, en función del número de dientes requeridos tanto para engranes helicoidales y rectos es respectivamente:

$$Mn = \frac{m\ (\ N1_r + N2_r)\cos\beta}{N1_h + N2_h} \tag{1.11}$$

$$m = \frac{Mn(N1_h + N2_h)}{\cos\beta\ (\ N1_r + N2_r)} \tag{1.12}$$

Donde $N2_r\ y\ N1_r$ son el número de dientes de los engranajes rectos, $N2_h$ y $N1_h$ el número de dientes de los engranajes helicoidales.

**1.7 Dinámica del vehículo.-** Para que un vehículo pueda generar una aceleración máxima depende de dos factores:

- Torque máximo en las ruedas: está en función de la prestación del motor y del sistema de transmisión.
- Fuerza de tracción máxima en la huella del neumático: que depende de la fricción a la rodadura.

**Dinámica del Motor.-** La potencia de un motor está en función de la velocidad angular, representados por una curva; que al aumentar sus revoluciones incrementa la potencia; sin embargo, esta alcanzará su valor más alto a cierto número de revoluciones y decaerá al sobrepasarlas como se observa en la figura1.13.

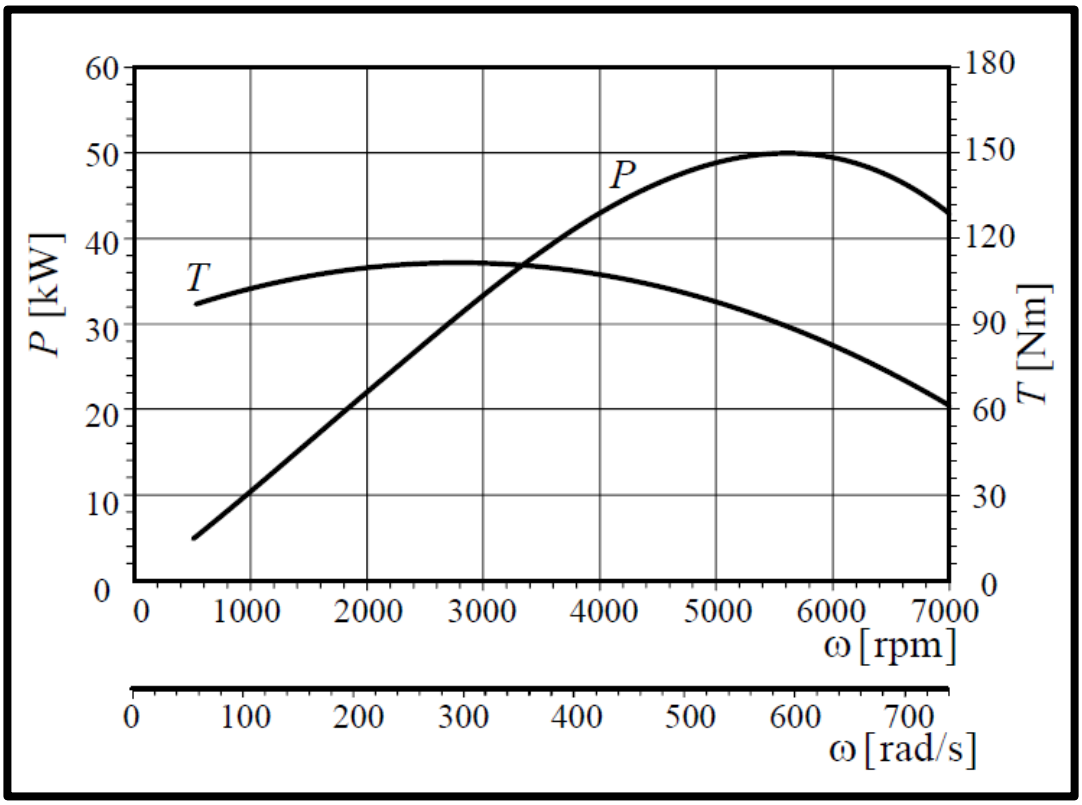



Figura 1.13. Diagrama de torque y potencia

Fuente: (Jazar, 2008)

Según (Jazar, 2008) "Se puede determinar la potencia generada de dos formas mediante una forma experimental que se lo realizaría en un banco dinamométrico y la segunda es mediante un polinomio de tercer orden".

$$Pe = P1(W_e) + P2(W_e^2) + P3(W_e^3) \qquad (1.13)$$

Dónde:

$Pe$ es la potencia efectiva, $W_e$ es la velocidad angular de motor; para motores de combustión interna mediante bujía o chispa de encendido se utiliza las siguientes ecuaciones.

$$P1 = \frac{P_m}{W_M} \tag{1.14}$$

$$P2 = \frac{P_m}{W_M^2} \tag{1.15}$$

$$P3 = -\frac{P_m}{W_M^3} \tag{1.16}$$

Siendo $P_m$ la potencia máxima en el motor teniendo las unidades de (Nm/s); mientras que $W_M$ es la velocidad angular teniendo como las unidades en (rad/s).

**1.7.1 Eficiencia y Velocidad.-** Cada elemento funciona con una determinada eficiencia, esto implica que la entrada no va ser igual a la salida; ya que todos los componentes poseen pérdidas ya sea por fricción, temperatura, etc. Como se observar la figura 1.14.

Por lo tanto:

$$P_w = nP_e \tag{1.17}$$

Siendo $P_w$ la potencia en las ruedas y $n$ la eficiencia total que no debe ser mayor a 1, para obtener la eficiencia total se debe obtener primero la eficiencia de cada elemento:

- Eficiencia del embrague ($n_c$) según el fabricante y el tipo de embrague.
- Eficiencia de la caja de cambios ($n_g$) está determinada por el valor de 0.98 para cada engrane y al momento de trabajar acoplados este valor se eleva al cuadrado.
- Eficiencia del diferencial ($n_d$) es de 0.98.

Dando como resultado:

$$n = n_c n_t \tag{1.18}$$

Siendo:

$n_t$ la eficiencia de la transmisión que es:

$$n_t = n_g x n_d \tag{1.19}$$

Para determinar la velocidad $(v_x)$ que es la relación entre la velocidad angular del motor y la velocidad del vehículo, está en función de:

$$v_x = \frac{R_W w_e}{n_g n_d} \tag{1.20}$$

Donde $R_W$ es el radio del neumático y $w_e$ es la velocidad angular del motor.

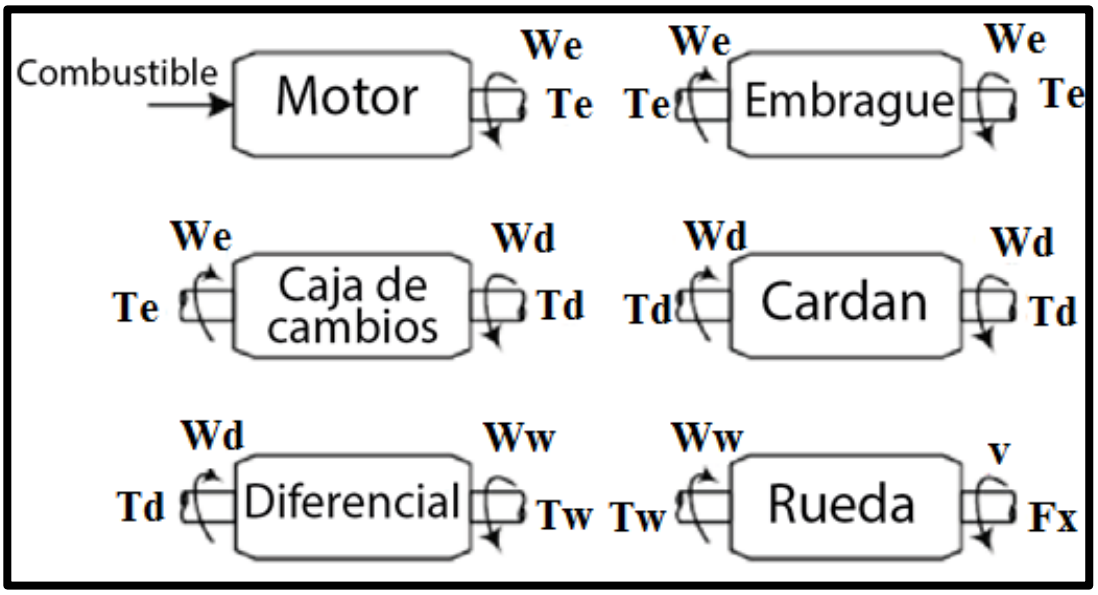



Figura1.14. Esquema de entrada y salida de elementos

Fuente: (Jazar, 2008)

Teniendo en cuenta que $W_{sa}$ es la velocidad de salida y $W_{en}$ es la velocidad de entrada, por consiguiente la relación de velocidad:

$$w_r = \frac{W_{sa}}{W_{en}} \tag{1.21}$$

Esta eficiencia estaría en función de la relación de trasmisión pero como se entiende que el vehículo es un conjunto de elementos y se asume que la potencia que sale siempre va a ser menor; ya que pasa la energía producida por el motor a través del embrague, caja de cambios, cardán, diferencial hasta llegar a las ruedas por lo tanto:

$$n = \frac{P_{sa}}{P_{en}} \tag{1.22}$$

Siendo $P_{sa}$ la potencia de salida y $P_{en}$es la potencia de entrada y si asumimos como datos que $P_{sa}$es la potencia generada a la salida de las ruedas ($P_w$) mientras que $P_{en}$es la potencia que entrega el motor ($P_e$) tenemos:

$$P_w = nP_e \tag{1.23}$$

El funcionamiento de la caja de cambios y embrague depende del motor, que funciona a un mínimo de velocidad angular; por lo que, se debe determinar la velocidad mínima del vehículo a la que se desplaza en referencia con sus neumáticos por lo que:

$$v_{min} = \frac{R_w W_{min}}{n_g n_d} \tag{1.24}$$

Donde $v_{min}$ es la velocidad mínima del vehículo y $W_{min}$ es la velocidad angular mínima de motor.

El vehículo debe realizar procesos de arranque; así como de parado, para lo cual nos ayuda el embrague, teniendo como unas de sus finalidades el inicio, interrupción y detención del movimiento en cada uno de sus cambios.

Al iniciar el movimiento de un vehículo el motor debe generar una velocidad angular y un torque el cual sería:

$$W_e = \frac{n_i n_d}{R_w} v_x \tag{1.25}$$

$$T_e = \frac{1}{n} \frac{R_w}{n_i n_d} F_x \tag{1.26}$$

Donde

$R_w$ es el radio del neumático, $n_d$ es la relación de transmisión del diferencial, $n_i$es la relación de transmisión de la caja de cambios, $n$ es la eficiencia total, $F_x$ es la fuerza de tracción en el neumático; obteniendo como resultado la velocidad angular ($W_e$) y torque en el motor ($T_e$); sin embargo para determinar la velocidad del vehículo que estaría en función del radio del neumático y la velocidad angular del neumático.

$$v_x = R_w W_w \tag{1.27}$$

Donde $W_w$ es la velocidad angular en el neumático.

La fuerza de tracción ($F_x$) es igual al torque ($T_W$) en el neumático divido para el radio del neumático.

$$F_x = \frac{T_W}{R_w} \tag{1.28}$$

**1.7.2 Dinámica de una caja de cambios.-** La caja de cambios se plantea en función de un escalonamiento; es decir, el salto o pérdida de velocidad angular que tiene al momento de aumentar la marcha; el rango que debe tener en salto ($c_g$) está entre:

$$1 \leq C_g \leq 2$$

Donde

$C_g$es:

$$C_g = \frac{n_{i-1}}{n_i} \tag{1.29}$$

Donde:

$n_i$ es la relación de transmisión en cada cambio, $n_{i-1}$ es la relación de cambio anterior, $n_{i+1}$es la relación del siguiente cambio. Se tiene los siguientes escalonamientos.

**1.7.2.1 Escalonamiento Geométrico.-** Se asume cuando el salto de velocidad angular es constante en todas sus marchas; para su diseño: (Cg) es la relación de transmisión relativa constante y se le denomina paso salto, como la figura1.15.

$$n_i = \frac{n_{i-1}}{C_g} \tag{1.30}$$

**1.7.2.2 Escalonamiento Progresivo.-** Si el salto de la velocidad angular disminuye en cada aumento de marcha, la perdida de velocidad angular ($\omega$) es menor en cada marcha como se observa en la figura1.16.

Para lo cual también debe cumplir con la siguiente ecuación:

$$n_{i+1} = \frac{n_i n_{i-1}}{2n_{i-1} - n_i} \tag{1.31}$$

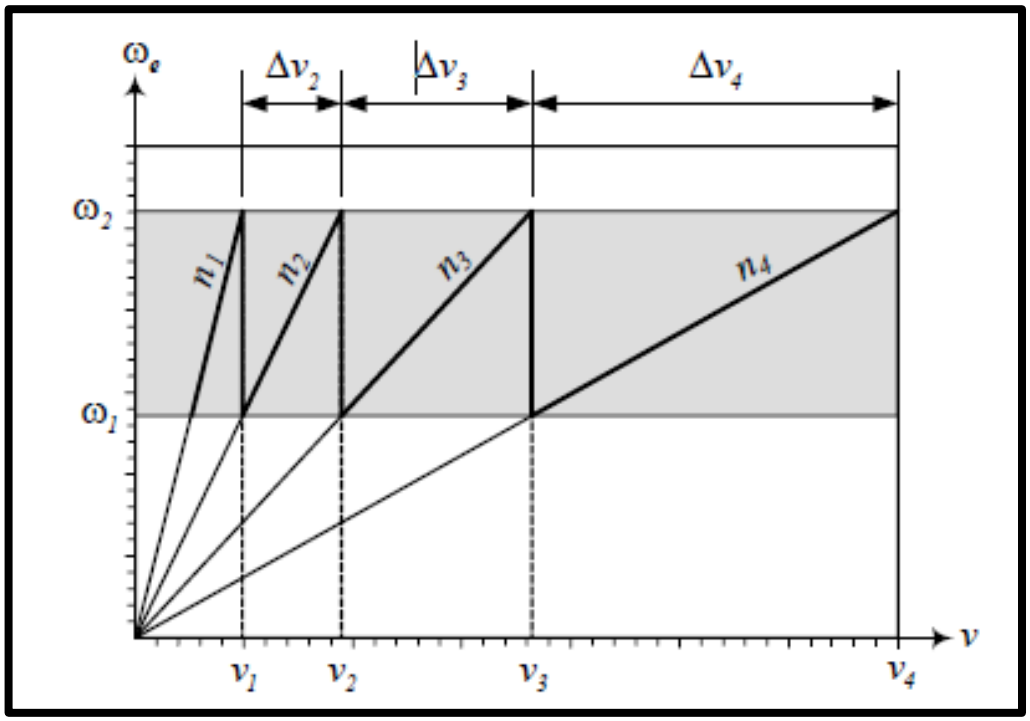



Figura 1.15 Escalonamiento geométrico

Fuente: (Jazar, 2008)

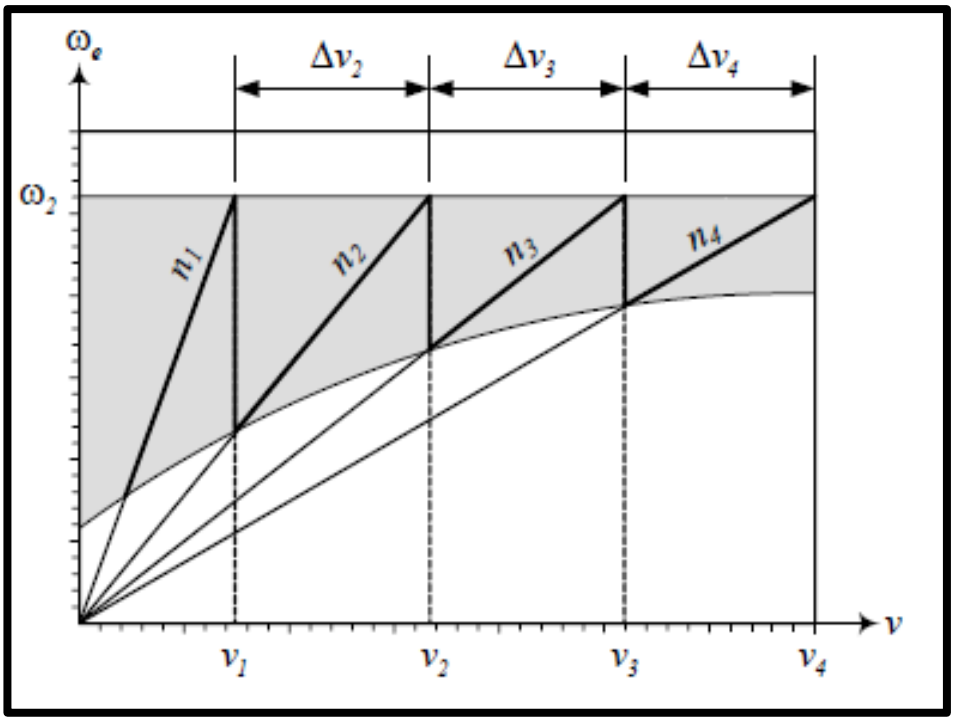



Figura 1.16 Escalonamiento progresivo

Fuente: (Jazar, 2008)

En las figuras 1.15 y 1.16 se muestran la variación de velocidad en cada marcha ($\Delta v_2, \Delta v_3, \Delta v_4$) y la pérdida de la velocidad angular ($\omega_{1\rightarrow}\omega_2$) en cada marcha, para cada figura.

## 1.8 Análisis de fuerza en engranajes.

**1.8.1 Fuerzas y Ángulos de Engranes Rectos.-** Tiene dos fuerzas resultantes que actúan en el engrane y en un ángulo, esto es debido a su construcción.

- **Fuerza Tangencial.-** Es aquella que realiza el movimiento; es decir, esta fuerza hace girar el engrane para producir el movimiento deseado.

$$W_t = \frac{T}{r} \tag{1.32}$$

Donde

$W_t$= Fuerza tangencia$T$ = Torque $r$ = Radio

- **Fuerza Radial.-** Actúa perpendicular a la fuerza tangencial, siendo una de las fuerza resultantes en el engrane. Donde $W_r$= Fuerza radial

$$W_r = W_t \tan\phi \tag{1.33}$$

Estas dos fuerzas resultantes tienen un ángulo en común que se lo denomina: ángulo de presión ($\phi$), que se produce debido al perfil del diente como se observa en la figura1.17.

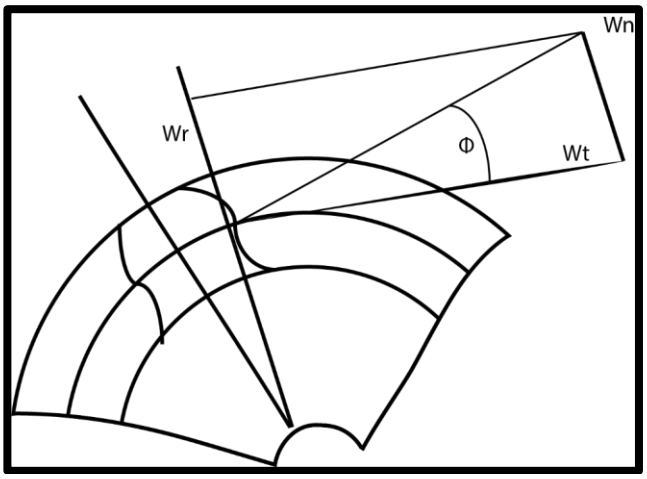



Figura 1.17 Fuerzas en engranes rectos
Fuente: (Norton, 2009)

**1.8.2 Fuerzas y Ángulos de Engranes Helicoidales.-** Tiene tres fuerzas y tres ángulos.

- **Fuerza tangencial.-** Según (Norton, 2009) "Actúa en el plano transversal y es tangente al paso de engrane helicoidal, produce el par torsional que se transmitirá del engrane motriz al engrane conducido; por consiguiente, a esta Fuerza se le llama con frecuencia fuerza transmitida", su nomenclatura es la "$W_T$". Su valor puede ser obtenido mediante la ecuación:

$$W_t = W \cos\phi_n \cos\psi \tag{1.34}$$

Donde:

$W$ es la fuerza resultante, $\phi_n$ es el ángulo presión y $\psi$ es ángulo de hélice.

- **Fuerza radial.-** Según (Norton, 2009) "Actúa hacia el centro del engrane, perpendicular al círculo de paso y a la fuerza tangencial. Tiende a separar a los dos engranes"; su nomenclatura es "$W_r$" su ecuación es la siguiente:

$$W_r = W \sin\phi_n \tag{1.35}$$

O

$$W_r = W_T \tan\phi_n \tag{1.36}$$

- **Fuerza Axial.-** Según (Norton, 2009) "Actúa paralela al eje del engranaje, y causa una carga al engranaje que debe resistir los cojinetes que soportan al eje." Su nomenclatura es "$W_a$", su ecuación es:

$$W_a = W \cos\phi_n \sin\psi \tag{1.37}$$

O

$$W_a = W_T \tan\psi \tag{1.38}$$

A su vez el engrane tiene tres ángulos como se observa en la figura1.18.

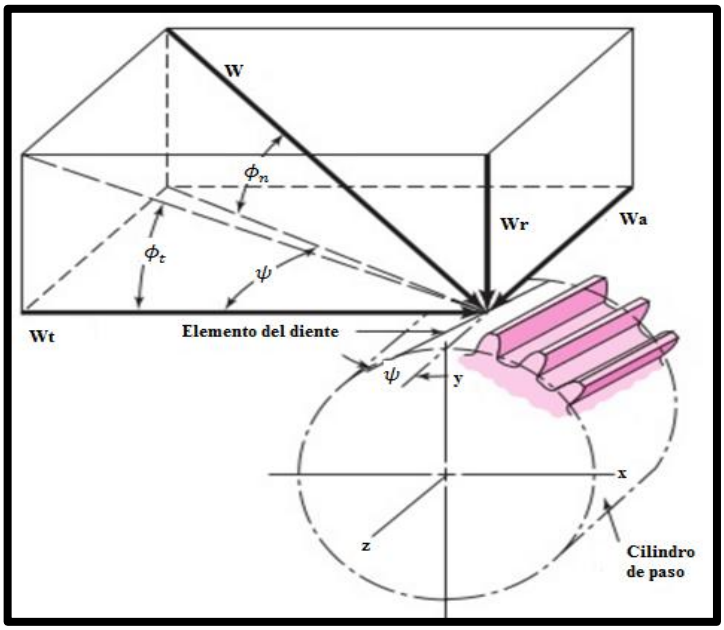



Figura 1.18. Fuerza en engrane helicoidal
Fuente: (Budynas, 2008)

Donde $\psi$ es el ángulo de hélice, $\phi_n$ el ángulo de presión, W es la fuerza resultante, $W_a$ es la fuerza axial, $W_t$ es la fuerza tangencia, $W_r$ es la fuerza radial.

## 1.9 Datos técnicos del Manual de Datsun.

### 1.9.1 Motor A12 de Datsun 1200 de los modelos B110, especificaciones tabla 1.2.

### 1.9.2 Caja de cambios F4W56.- Tienen la mayoría de vehículos de la serie B110, Figura1.19 y tabla 1.3 muestras sus datos técnicos.

Tabla 1.2. Datos del vehículo

| Motor | |
|---|---|
| **Cilindro** | 4 |
| **Aspiración** | Natural |
| **Cilindraje** | 1171 cm3 |
| **Compresión** | 9.0:1 |
| **Máximas rpm** | 6000rpm |
| **Torque máximo** | 9.7 Kg/m a 3600rpm |
| **Peso del vehículo** | 750 kg |
| **Máxima velocidad** | 145 km |
| **Máxima gradiente** | 0.428 |
| **Potencia Max indicada** | 38 KW a 5600 rpm |
| **Potencia efectiva** | 34.2 KW a 5000 rpm |
| **Carrera** | 70 mm |
| **Diámetro del cilindro** | 73 mm |
| **Ralentí** | 700 rpm |

Fuente: (JAPON, 1971)

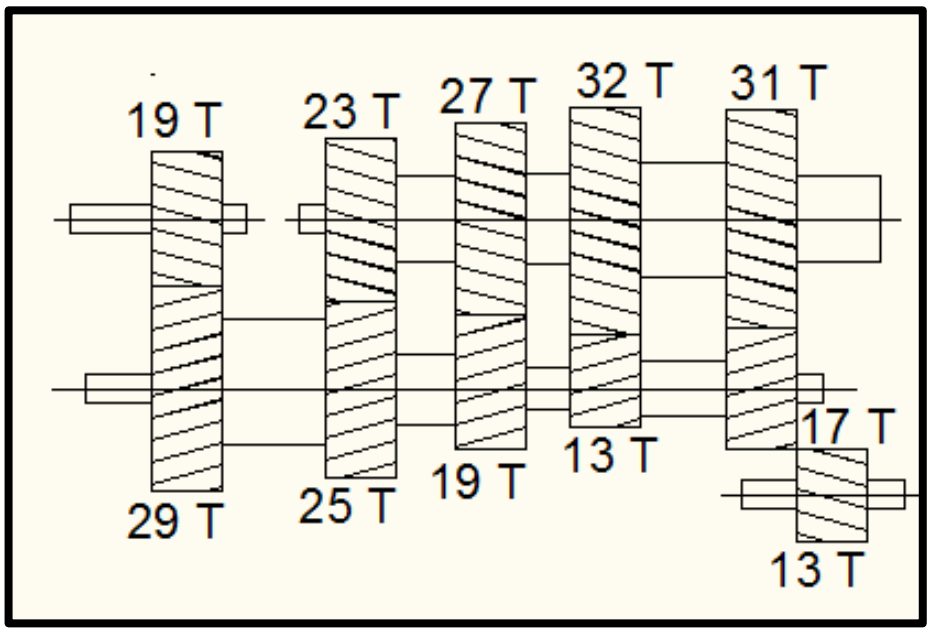



Figura 1.19. Caja de cambios F4W56.

Fuente: (JAPON, 1971)

Tabla 1.3. Datos técnicos de la caja de cambios.

| CAJA DE CAMBIOS F4W56 | |
|---|---|
| **Marcha** | Relación |
| **1** | 3.76:1 |
| **2** | 2.16:1 |
| **3** | 1.40:1 |
| **4** | 1:1 |
| **Reversa** | 3.64:1 |

Fuente: (JAPON, 1971)

**1.9.3 Diferencial y neumático.-** La relación de transmisión del diferencial es de 3.6:1 y el rin del neumático es R13.

**1.9.4 Dimensiones.-** Una de las referencias principales que necesitamos es la distancia entre ejes, ancho del vehículo, longitud máxima del vehículo que cumplen un papel importante en la dinámica del vehículo. Ver Figura1.20.

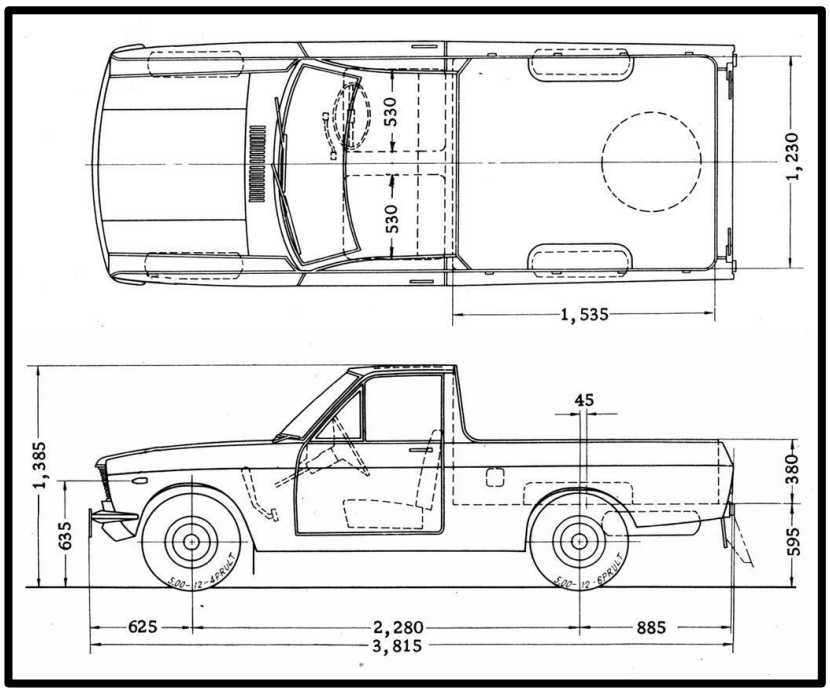



Figura 1.20. Dimensiones de Datsun 1200

Fuente: (JAPON, 1971).

# CAPÍTULO II

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se determinó inicialmente la relación de transmisión que permitirá incrementar la velocidad del vehículo a través del análisis de la dinámica de la caja de cambios; mediante la modificación del módulo y manteniendo la distancia entre ejes, se procede a verificar si los factores que afectan al diseño son los correctos para obtener un factor de seguridad adecuado para su funcionamiento.

### Diseño de engranes

**2.1 Potencia del motor.-** La potencia efectiva del motor medida en el banco dinamométrico es de: 19,3 KW, a la cual se suman los valores de las resistencias, mencionadas en el capítulo I; se obtienen mediante las ecuaciones: 2.1, 2.2 y 2.3 según: (Cypra, Beer, & Bauer, 1995).

Resistencia a la rodadura $(R_r)$

$$R_r = m * g * f_r * \cos \emptyset \tag{2.1}$$

Resistencia a la Inercia $(R_i)$

$$R_i = m * a \tag{2.2}$$

Resistencia a la pendiente $(R_p)$

$$R_p = m * g * \text{sen}\, \emptyset \tag{2.3}$$

Siendo $m$ la masa del vehículo (750 Kg) que se observa en la tabla 1.2, $g$ la gravedad en (9.81 m/s$^2$), $f_r$ el coeficiente de fricción (0.013) que se observa en el anexo 1, $\emptyset$ el

ángulo de inclinación de la rampa (25º) y $a$ la aceleración (0.05m/s2). Se obtiene un resultado de:

$$R_r = 123.93\ N$$

$$R_i = 475\ N$$

$$R_p = 4311.92\ N$$

El factor de corrección ($K_a$) para el banco dinamométrico basado en la norma INEN 0960, que se calcula mediante la ecuación 2.4:

$$K_a = \left(\frac{100}{P}\right)\left(\frac{T}{298}\right) \quad (2.4)$$

Dónde: P es la presión atmosférica (KPa), T es la temperatura absoluta (K), las cuales se observan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Presión y Temperatura de la ciudad de Cuenca

| | Temperatura (K) | Presión (KPa) |
|---|---|---|
| **Valor** | 286.96 | 68.51 |

Fuente (ECUATORIANA, 2012)

Obteniendo un resultado de: $K_a$= 1,41. Dando una potencia final, que se observa en la tabla 2.2:

Tabla 2,2 Potencia efectiva del motor

| Medición de potencia | Resultado (KW) |
|---|---|
| **Banco dinamométrico** | 19,3 |
| **Factor de corrección** | 1,41 |
| **Resistencias** | 4,91087 |
| **Total** | 25,650 |

Fuente (autores, 2016)

La potencia efectiva obtenida en la caja de cambios es de 25, 6 KW.

### 2.1.1 Análisis de fuerzas en engranajes helicoidales

- **Fuerza tangencial.-** En la tabla 2.3 se observa las fuerzas que actúan en el engrane y se calcula a través de la ecuación 1,34.

Tabla 2.3 Fuerzas tangenciales.

| Marcha | Fuerza Tangencia (N) |
|---|---|
| **Primera** | 4937,37 |
| **Segunda** | 3378,20 |
| **Tercera** | 2567,43 |
| **Cuarta** | 2213,30 |

Fuente: (autores, 2016)

- **Fuerza radial.-** En la tabla 2.4 se observan las fuerzas que se calcula por la ecuación 1,36.

Tabla 2.4 Fuerza radial

| Marcha | Fuerza radial (N) |
|---|---|
| **Primera** | 1322,96 |
| **Segunda** | 905,19 |
| **Tercera** | 687,94 |
| **Cuarta** | 593,05 |

Fuente (autores, 2016)

- **Fuerza axial.-** En la tabla 2,5 se observan las fuerzas axiales obtenidas por la ecuación 1,38.

Tabla 2.5 Fuerza axial

| Marcha | Fuerza axial (N) |
|---|---|
| **Primera** | 1797,06 |
| **Segunda** | 1229,56 |
| **Tercera** | 934,47 |
| **Cuarta** | 805,58 |

Fuente (autores, 2016)

**2.1.2 Transformación de engranajes helicoidales a rectos.-** Para la transformación de los engranajes de la caja de cambios, es primordial mantener fijos factores de diseño como: distancia entre centros (inter ejes), suma de diente y ancho de cara.

**2.1.2.1 Módulo (m).-** Los empleados para la fabricación de engranajes, tanto helicoidales como rectos son: 2, 2.25, 2.5, 3mm. Por diseño y construcción se emplea un módulo de 2.5mm.

**2.1.2.2 Distancia entre centros**

- **Engranajes helicoidales:** Se obtiene por medición a los centros de los ejes, según la ecuación 1,6, esta no debe variar entre marchas, el valor obtenido es de 60mm.
- **Engranes rectos:** Por medio de las ecuaciones 1,6 y 1,20 se determinan los números de dientes para un módulo de 2,5mm. Como se observa en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Número de diente calculados para engranes rectos.

| Marcha | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Eje primario (dientes)** | 33 | 26 | 21 | 18 |
| **Eje secundario (dientes)** | 15 | 22 | 27 | 30 |
| **Suma de dientes** | 48 | 48 | 48 | 48 |
| **Distancia entre centros (mm)** | 60 | 60 | 60 | 60 |

Fuente (autores, 2016)

**2.1.3 Diámetros de los engranes.-** Mediante las tabla 2,6 y con la ecuación 1,7 se determina los diámetros primitivos para cada engrane como se observa en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Diámetros primitivos

| Marcha | Engrane | Diámetro primitivo (mm) |
|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 82,50 |
| | 6 | 37,50 |
| **Segunda** | 3 | 65,00 |
| | 7 | 55,00 |
| **Tercera** | 4 | 52,50 |
| | 8 | 67,50 |
| **Cuarta** | 5 | 45,00 |
| | 9 | 75,00 |

Fuente (autores, 2016)

### 2.1.4 Análisis de fuerzas para engranajes rectos

- **Fuerza tangencial.-** Mediante la ecuación 1,32 se obtiene la tabla 2.8, en donde se observan las fuerzas tangenciales que actúan sobre los engranes.

Tabla 2.8 Fuerza tangencial en engranes rectos

| Marcha | Fuerza tangencia (N) |
|---|---|
| Primera | 4354,80 |
| Segunda | 2969,18 |
| Tercera | 2419,33 |
| Cuarta | 2177,40 |

Fuente (autores, 2016)

- **Fuerza radial.-** Mediante la ecuación 1.33 se obtiene la tabla 2,9 donde, se observan las fuerzas radiales actuantes.

Tabla 2.9 Fuerza radial en engranes rectos

| Marcha | Fuerza radial (N) |
|---|---|
| Primera | 1166,87 |
| Segunda | 795,59 |
| Tercera | 648,26 |
| Cuarta | 583,43 |

Fuente (autores, 2016)

## 2.2 Ecuaciones para el diseño de engranajes.

**2.2.1 Relación de transmisión ($n_i$).-** Se obtiene mediante la ecuación 2.5:

$$n_i = \frac{N2}{N1} = \frac{Conducido}{Conductor} \tag{2.5}$$

Donde N1 es el engrane conductor y N2 es el engrane conducido. De acuerdo a la tabla 2.6 y la ecuación 2.5; se obtiene las siguientes relaciones de trasmisiones como se presenta en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Relación de Transmisión

| Marcha | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| Relación de transmisión con engranes rectos | 3.66:1 | 1,92:1 | 1.29;1 | 1:1 |

Fuente (autores, 2016)

**2.2.2 Esfuerzo AGMA.-** Empleado para determinar los esfuerzos a flexión y a picadura. Este método utiliza las siguientes ecuaciones.

**Sistema internacional para esfuerzo a flexión:**

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{P_d}{F} \frac{K_m K_B}{J} \tag{2.6}$$

**Sistema internacional para resistencia a la picadura:**

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W^t K_o K_v K_s \frac{K_m}{d_p J} \frac{C_f}{I}} \tag{2.7}$$

Dónde:

- **Factor de sobre carga $K_o$.-** Su propósito es agrupar todas las cargas externas existentes en un solo valor, como se observa en la tabla 2,11.

Tabla 2.11 Factor de sobre carga.

| Máquina impulsada | | | |
|---|---|---|---|
| Fuente de potencia | Uniforme | Impacto moderado | Impacto pesado |
| Uniforme | 1 | 1.25 | 1.75 |
| Impacto moderado | 1.25 | 1.5 | 2 |
| Impacto pesado | 1.5 | 1.75 | 2.25 |

Fuente: (Nisbett, 2008)

Para el análisis se utiliza un valor impacto moderado a impacto moderado siendo un valor de:

$$K_o = 1.5.$$

- **Factor de Tamaño $K_s$.-** Depende de las propiedades del material como puede ser: tamaño del diente, diámetro de la pieza, relación de tamaño, ancho de cara, templabilidad y tratamiento térmico. Por factores de diseño se usa un valor de:

$$K_s = 1.$$

- **Factor dinámico $K_v$.-** Relacionado con el acabado del engrane en cuanto a la fabricación, el desgaste por acoplamiento entre dientes, deformación, fricción, desequilibrio de los dientes, des-alineamiento del eje y sus demás implicaciones. La ecuación utilizada para el S. I. en m/s

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A}\right)^B \tag{2.8}$$

Donde:

$$A = 50 + 56(1 - B) \tag{2.9}$$

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \tag{2.10}$$

$$V = \frac{A + (Q_v - 3)^2}{200} \quad (\frac{m}{s}) \tag{2.11}$$

Dónde:

V es la velocidad del engrane, $Q_v$ es el acabado del diente y $V$ es la velocidad calculada. El valor $Q_v$ se asume del anexo 2 con un valor de 7 por tratarse de engranes comerciales, $B = 0.73$ y $A = 65.12$. En la tabla 2.12 se observa los valores de la velocidad, que depende de cada engranes y su valor de $K_v$.

Tabla 2.12 Factor $K_v$,

| | Velocidad (m/s) | $K_v$ |
|---|---|---|
| Primera | 0.0062 | 1.013 |
| Segunda | 0.0086 | 1.014 |
| Tercera | 0.0110 | 1.016 |
| Cuarta | 0.0124 | 1.017 |

Fuente (autores, 2016)

- **Factor de distribución de la carga $K_m$ ($K_H$).-** Demuestra la distribución no uniforme de la fuerza a lo largo de la línea de contacto.

$$K_m = C_{mf} = 1 + C_{mc}\left(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e\right) \tag{2.12}$$

Dónde:

$C_{mc} = 1$ Para dientes sin corona

$$C_{pf} = \frac{F}{10d} - 0.025 \qquad F \leq 1pulg \qquad (2.13)$$

Dónde:

F es el ancho de cara, que es igual 14,58 mm o 0,57 plg. y d es el diámetro de cada engrane.

$$C_{ma} = A + BF + CF^2 \qquad (2.14)$$

Donde los valores de: A, B y C se utilizan de la tabla 2.13 como engranes comerciales.

Tabla 2.13. Constantes empíricas A, B y C

| Condición | A | B | C |
|---|---|---|---|
| Engranes abiertos | 0.247 | 0.0167 | $-0.765(10^{-4})$ |
| Unidades comerciales, cerradas | 0.127 | 0.0158 | $-0.930(10^{-4})$ |
| Unidades de precisión, cerradas | 0.0675 | 0.0128 | $-0.926(10^{-4})$ |
| Unidades de precisión extrema, cerradas | 0.00360 | 0.0102 | $-0.822(10^{-4})$ |

Fuente: (Nisbett, 2008)

$$C_{pm} = 1 \qquad C_e = 0.8$$

Se usa un valor de:

$$K_m = 1.23.$$

- **Factor de Relación de dureza $C_H$.-** Determina la relación de endurecimiento que posee el piñón frente al engrane, éste por su menor número de dientes tiene mayor contacto, se asume un valor de:

$$C_H = 1$$

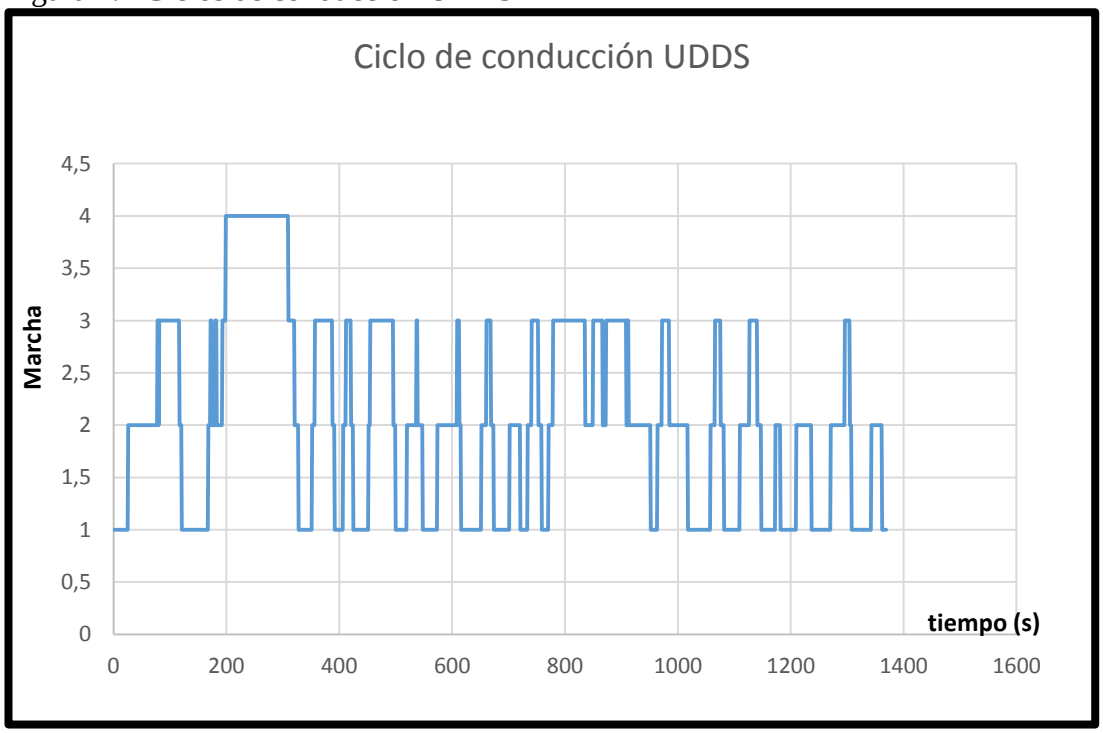
- **Factor de condición superficial $C_f$ ($Z_R$).-** Se usa para la ecuación a picadura, este factor depende del acabado superficial, esfuerzos residuales, efectos plásticos, por lo general se lo toma con un valor de:

$$Z_R = 1$$

- **Factores de ciclo de esfuerzo $Y_N$ ($Z_N$).-** Se determina por las figuras de AGMA, por medio de los ciclos de carga y la dureza del material a utilizar; dependiendo del esfuerzo; ya sea, por flexión ver anexo 3 o picadura ver anexo 4.

Al no contar con ciclos establecidos para el funcionamiento de vehículos en la ciudad de Cuenca, se utiliza un modelo básico de ciclos de conducción UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule); que sirve de referencia, el cual permite establecer los tiempos y la secuencia de cada marcha, como se observa en la figura 2,4.

Figura 2.1 Ciclos de conducción UDDS




Fuente (Cordero Moreno, 2016).

De acuerdo a la figura 2.1, correspondiente a los ciclos de conducción UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) se obtiene la tabla 2.14 que corresponde a los ciclos

de funcionamiento probables para la caja de engranes rectos; así como, factores de flexión y picadura.

Tabla 2.14. Factor $Y_N$ y $Z_N$

| | Distancia UDDS (Km) | Distancia (Km) | Engranaje | Ciclos (Rev.) | $Y_N$ Flexión | $Z_N$ Picadura |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1ra** | 1.04 | 86.595,03 | 2 | 462.149,3 | 1.37 | 1.10 |
| | | | 6 | 76.320.39 | 1.79 | 1.15 |
| **2da** | 4.96 | 413.676,41 | 3 | 2.207.735 | 1.09 | 1.06 |
| | | | 7 | 598.302,1 | 1.32 | 1.10 |
| **3ra** | 3.53 | 294.186,73 | 4 | 1.570.046 | 1.14 | 1.07 |
| | | | 8 | 667.240 | 1.30 | 1.09 |
| **4ta** | 2.46 | 205.544,82 | 5 | 1.096.972 | 1.21 | 1.08 |
| | | | 9 | 610.211,7 | 1.32 | 1.10 |

Fuente (Cordero Moreno, 2016)

- **Factor de temperatura $Y_\theta$ ($K_T$).-** Con un valor de temperatura del aceite de 100ºC, se asume un valor:

$$K_T = 1.$$

- **Factor de espesor del aro $K_B$.-** Si el espesor del aro no es suficiente para proporcionar el soporte completo a la raíz de diente, la falla se ubicará en el aro del engrane por fatiga, por ser engranes recto.

$$K_B = 1.$$

- **Factor geométrico de la resistencia a la flexión $J$ ($Y_J$).-** Según (Nisbett, 2008) es un valor modificado de la ecuación de Lewis que se denota también por Y, un factor de concentración de esfuerzo por fatiga Kf y una relación repartición de la carga $m_N$ del diente, se utiliza el anexo 5 y se obtiene la tabla 2.15.

- **Factor geométrico de resistencia superficial $I$ ($Z_I$).-** Se emplea para determinar la resistencia a la picadura, donde:

$$I = \frac{\cos\theta \sin\theta}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1} \tag{2.15}$$

Tabla 2.15 Factor J

| Cambio | Engranaje | $J$ |
|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 0.36 |
| | 6 | 0.25 |
| **Segunda** | 3 | 0.34 |
| | 7 | 0.31 |
| **Tercera** | 4 | 0.33 |
| | 8 | 0.34 |
| **Cuarta** | 5 | 0.32 |
| | 9 | 0.34 |

Fuente (autores, 2016)

La ecuación 2.15 se utiliza para engranes externos, siendo rectos o helicoidales. Se aplica para engranes rectos $m_N = 1$, $m_G$ es la relación de piñón-engrane, $\theta$ es el ángulo de presión que es de 15º, se obtiene la tabla 2.16.

Tabla 2.16 Factor I

| Cambio | Engranaje | $I$ |
|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 0.13 |
| | 6 | 0.13 |
| **Segunda** | 3 | 0.11 |
| | 7 | 0.11 |
| **Tercera** | 4 | 0.09 |
| | 8 | 0.09 |
| **Cuarta** | 5 | 0.08 |
| | 9 | 0.08 |

Fuente (autores, 2016)

- **Factor de confiabilidad $Y_Z$ ($K_R$).-** Es la seguridad que presenta el material para resistir las fallas a fatiga, debido a los esfuerzos a flexión y de contacto como se presenta en el anexo 6. Por factores de diseño se usa una confiabilidad del 50% y se tiene:

$$K_R = 0.7.$$

- **Materiales.-** Para la fabricación de los engranes se utiliza un material con código E410/E411, según el catálogo de BOHLER C.A., equivalente a un AISI 8620, que se puede observar en el anexo 6. Mediante consulta al Ing. Erick Vaca Hinostrosa, Jefe de línea de materiales de IVAN BOHMAN C.A., la dureza de este material, al aplicar el tratamiento de cementación es de 58 HRC y a partir de esta información se aplica la figura 1,10 para obtener los esfuerzos a flexión ($S_t$) y a picadura ($S_c$) con grado 1.

- **Factor de seguridad AGMA.-** Es el valor de seguridad que posee el engrane contra falla por fatiga a flexión y por picadura, siendo $S_F$ y $S_H$ respectivamente. Los valores se observan en la tabla 2.17.

$$S_F = \frac{S_t Y_N / (K_T K_R)}{\sigma} \tag{2.16}$$

$$S_H = \frac{S_c Z_N C_H / (K_T K_R)}{\sigma_c} \tag{217}$$

Tabla 2.17 Factor de seguridad

| Cambio | Engranaje | $S_F$ | $S_H{}^2$ |
|---|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 1.33 | 2.21 |
| | 6 | 1.21 | 1.43 |
| **Segunda** | 3 | 1.38 | 2.96 |
| | 7 | 1.53 | 2.10 |
| **Tercera** | 4 | 1.80 | 2.55 |
| | 8 | 2.10 | 2.77 |
| **Cuarta** | 5 | 2.07 | 2.18 |
| | 9 | 3.52 | 3.07 |

Fuente (autores, 2016)

## 2.3 Análisis dinámico de la caja de cambios.

**2.3.1 Escalonamiento.-** Las figuras 1.15 y 1.16 indican los tipos de escalonamientos que existen; al sustituir los elementos de transmisión (engranes rectos) se obtuvo un escalonamiento progresivo como se ve en la fig.2.2

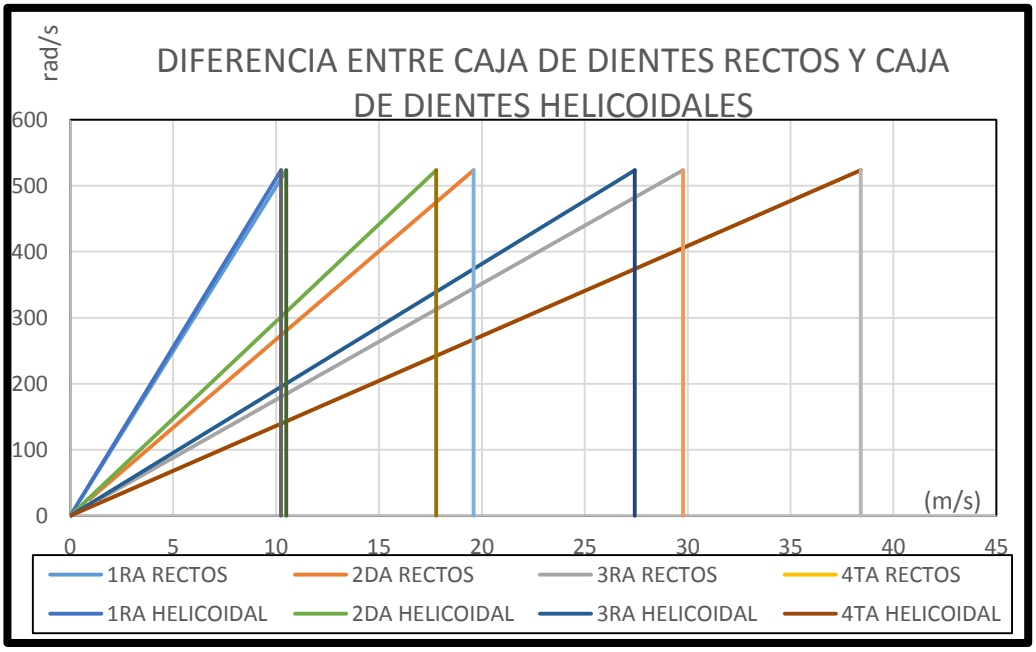



Fig. 2.2 Escalonamiento entre caja de engranes rectos y helicoidales

Fuente (autores, 2016)

Mediante la fig. 2.2 se determinan los valores teóricos expresados en la tabla 2.18

Tabla 2.18 Velocidades de caja con engranes rectos

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Velocidad máx. teórica (m/s)** | 10.49 | 19.59 | 29.77 | 38.41 |
| **Velocidad angular min. (rad/s)** | --- | 275 | 345 | 405 |
| **Velocidad angular máx. (rad/s)** | 523.61 | 523.61 | 523.61 | 523.61 |

Fuente (autores, 2016)

**2.3.2 Cálculo del tiempo teórico de recorrido.-** Mediante las ecuaciones: 1.14, 1.15, 1.16, 1.17, 1.26 y 1.28, se determinan los tiempos de recorrido para cada marcha como se observa en la tabla 2.19; alcanzando la máxima velocidad angular (rad/s) y a partir de ésta, alcanzar su máxima velocidad (m/s) según la tabla 2.18.

Tabla 2.19 Tiempo de recorrido

| Marcha | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Tiempo (s)** | 3.36 | 6.6 | 16.28 | 32.06 |

Fuente (autores, 2016)

## 2.4 Análisis de ejes

**Eje.-** Para el diseño se obtienen las medidas originales como son:

- Longitud
- Diámetros
- Distancias entre ejes
- Distancias a los cojinetes.

**2.4.1 Eje primario.-** Por medición se determina que tiene una longitud 665.57 mm, y sus diámetros varían según la necesidad de cada cambio, como se observa en la figura 2.3, sus unidades están en milímetros (mm).

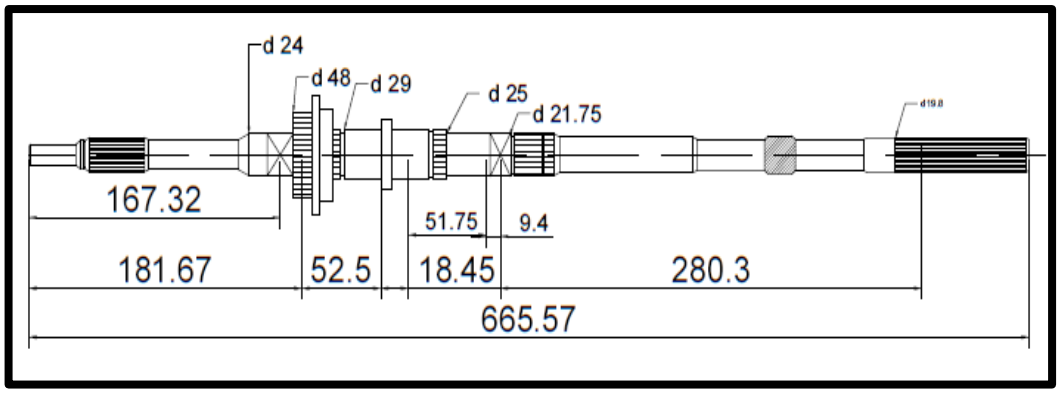



Fig. 2.3 Esquema de eje Primario

Fuente (autores, 2016)

- **Momento flector-** De acuerdo a la ecuación 2.18, se pueden encontrar los momentos flectores para los planos XY y XZ, por la ecuación 2.19 se obtiene el momento resultante.

$$Mf_{(XY\ o\ XZ)} = (R_C)(x) \pm (R_B)(x+y) \ldots\ldots \pm (R_{i_n})(i_n) \tag{2.18}$$

$$M_R = \sqrt{Mf_{XY}{}^2 + Mf_{XZ}{}^2} \tag{2.19}$$

- D**iagrama de cuerpo libre**.-Incorpora todas las fuerzas y distancias que actúan sobre el eje, determinando las reacciones en los apoyos, como se observa en la figura 2.4.

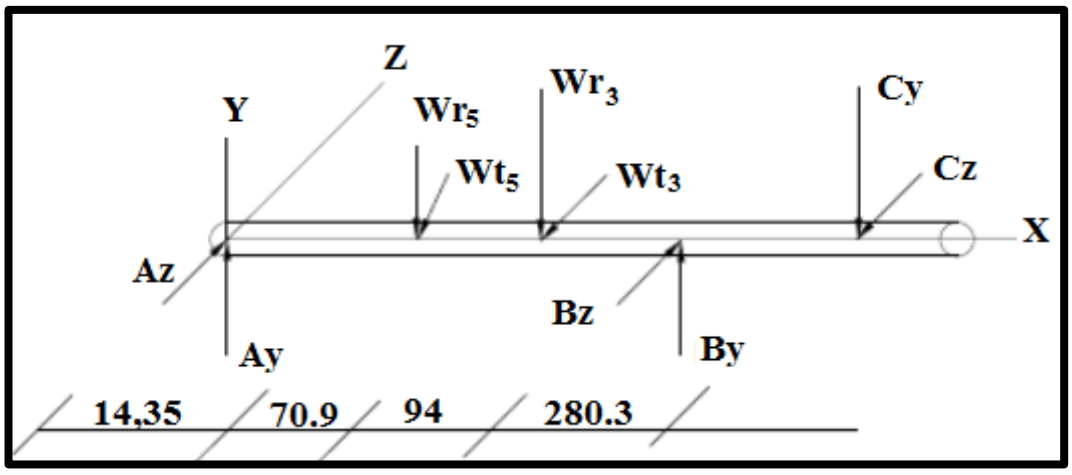



Fig. 2.4 Diagrama de cuerpo libre (eje primario)

Fuente (autores, 2016)

Dónde:

$A_z$ y $A_y$ son las reacciones del rodamiento A, $B_z$ y $B_y$ son las reacciones del rodamiento B, $C_z$ y $C_y$ son las reacciones del apoyo C, $Wr_5$ y $Wt_5$ es la reacción radial y tangencial del engrane 5 y $Wr_3$ y $Wt_3$ es la reacción radial y tangencial del engrane 3.

- **Reacciones.-** Al ser un caso hiperestático, se usa el programa (XVIGAS, 2015), el cual determina las reacciones que se generan en cada apoyo, como se ve en la tabla 2.20.

Tabla 2.20 Reacciones en apoyos

| Apoyo | A | | B | | C | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Plano** | $A_{XY}$(N) | $A_{XZ}$(N) | $B_{XY}$(N) | $B_{XZ}$(N) | $C_{XY}$(N) | $C_{XZ}$(N) |
| **Primera marcha** | 2100.6 | 562.45 | 4496.9 | 1204.3 | 66.24 | 17.74 |
| **Segunda marcha** | 2037.80 | 546.01 | 3144.1 | 842.46 | 35.27 | 9.45 |
| **Tercera marcha** | 2410.10 | 645.77 | 2237 | 599.4 | 50.30 | 13.47 |
| **Cuarta marcha** | 1907.70 | 510.8 | 290.21 | 77.70 | 13.47 | 5.49 |

Fuente (XVIGAS, 2015)

Para determinar las reacciones en cada plano se usa la ecuación 2.20, con la cual se encuentran las fuerzas resultantes en cada apoyo.

$$R_T = \sqrt{{R_{tag}}^2 + {R_{rad}}^2} \qquad (2.20)$$

Donde $R_T$ es la fuerza resultante en cada apoyo, $R_{tag}$ es la reacción tangencial del apoyo en el plano XY o XZ y $R_{rad}$ es la reacción radial del apoyo en el plano XZ o XY. Se obtiene la tabla 2.21 y se establece la fuerza resultante en cada marcha.

Tabla 2.21 Fuerzas resultantes de los apoyos

| Eje | Apoyo | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|---|
| **Primario** | RA (N) | 6001.72 | 1341.06 | 2025.29 | 2025.29 |
| | RB (N) | 4455.11 | 3417.83 | 3310.67 | 3231.35 |
| | RC (N) | 68.58 | 127.84 | 103.24 | 21.25 |

Fuente (autores, 2016)

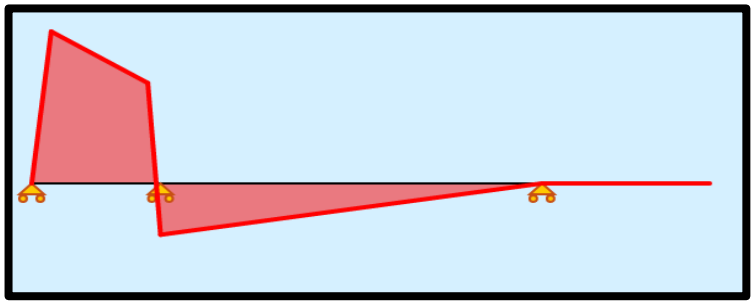
- **Cálculo del momento flector.-** A partir de la tabla 2.21 y con la ecuación 2.18 se determinan los momentos flectores en cada marcha, como se observa en la tabla 2.22.

Tabla 2.22 Momento flector

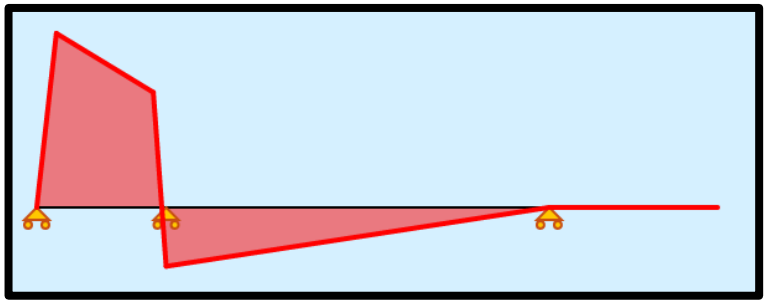
| Marcha | Engranaje | Momento XY (Nm) | Momento XZ (Nm) |
|---|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 61.10 | 16.36 |
| **Segunda** | 3 | 204.30 | 54.74 |
| **Tercera** | 4 | 194.22 | 52.03 |
| **Cuarta** | 5 | 28.80 | 7.71 |

Fuente (autores, 2016)

En la figura 2.5 se observa el momento flector en el eje y el momento flector máximo perteneciente a segunda velocidad, localizado en el engrane 3, éste se establece como el punto crítico debido a que sus momentos en cada plano son los mayores.



Plano XY



Plano XZ

Fig. 2.5 Diagrama de momento flector máximo (eje primario)

Fuente (XVIGAS, 2015)

Mediante la ecuación 2.19 se determina el momento flector resultante que se observa en la tabla 2.23 para cada cambio.

Tabla 2.23 Momento flector resultante

| Marcha | Engrane | Momento (Nm) |
|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 63.26 |
| **Segunda** | 3 | 211.51 |
| **Tercera** | 4 | 201.07 |
| **Cuarta** | 5 | 29.82 |

Fuente (autores, 2016)

**2.4.1.1 Cálculo de torque.-** Por la variación que se produce al momento de la aceleración, se posee un torque máximo y mínimo en el eje, mediante las ecuaciones 2.21 y 2.22 se determinan.

$$Te = \frac{Pe}{We} \tag{2.21}$$

$$Tc = Te\ n\ n_i \tag{2.22}$$

Dónde:

$Te$ es el Torque en el motor, $Pe$ es la potencia en el motor, $We$ es la velocidad angular, $Tc$ es el torque en la caja de cambios, $n$ la eficiencia y $n_i$ es la relación de transmisión, y se obtiene los resultados de la tabla 2.24.

Tabla 2.24 Torque máximo y mínimo en cada marcha

| Eje | Torque | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|---|
| **Primario** | Máx. (Nm) | 179.64 | 95.50 | 65.31 | 48.99 |
| | Mín. (Nm) | 46.63 | 24.46 | 16.43 | 12.74 |

Fuente (autores, 2016)

**2.4.1.2 Propiedades del material del eje.-** Mediante medición se establece que su dureza es: 43 HRC o 400 HB; se asume un acero: AISI 1030, sus propiedades para el análisis del eje se indican en la tabla 2.25.

Tabla 2.25 Características y propiedades del material de construcción del eje.

| **Material AISI 1030** | |
|---|---|
| **Tratamiento Templado y Revenido** | |
| **Temp.(ºC) 315** | Valor |
| **Resistencia a la tensión ($S_{ut}$) (Mpa)** | 800 |
| **Resistencia a la Fluencia ($S_y$) (Mpa)** | 621 |
| **Dureza (HB)** | 401 |

Fuente (Nisbett, 2008).

**2.4.1.3 Análisis por la teoría de Goodman Modificado.-** Inicia con el cálculo del esfuerzo flexionante, mediante la ecuaciones 2.23:

$$\sigma_{(\max o\ min)} = \frac{32 * M_{(\max o\ \min)}}{\pi * d^3} \qquad (2.23)$$

Donde:

$\sigma_{(\text{máx } o \text{ mín})}$ es el esfuerzo flexionante máximo o mínimo (Mpa), $M_{(\text{máx } o \text{ mín})}$ es el momento máximo o mínimo en el punto analizado (Nm), $d$ el diámetro del punto analizado (m). Mediante la ecuación 2.23, se determina el esfuerzo máximo y mínimo, como se observa en la tabla 2.26.

Tabla 2.26 Esfuerzos máximo y mínimos

| **Marcha** | **Primera** | **Segunda** | **Tercera** | **Cuarta** |
|---|---|---|---|---|
| **Número de engrane** | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **$\sigma_{máx}$(MPa)** | 42.15 | 79.97 | 71.54 | 11.25 |
| **$\sigma_{mín}$(MPa)** | 42.15 | 79.97 | 71.54 | 11.25 |

Fuente (autores, 2016)

**2.4.1.4 Esfuerzos fluctuantes.-** Se generan debido a que el eje se encuentra en rotación durante su funcionamiento; por lo que, se generan los siguientes esfuerzos:

- **Componente de amplitud ($\sigma_a$).-** Se la determina con la ecuación 2.24:

$$\sigma_a = \left|\frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}\right| \quad (2.24)$$

- **Componente de esfuerzo medio ($\sigma_m$).-** Se lo determina con la ecuación 2.25:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.25)$$

Donde:

$\sigma_{max}$ es el esfuerzo máximo (Mpa), $\sigma_{min}$ es el esfuerzo mínimo (Mpa), con lo cual se obtienen los valores que se muestran en la tabla 2.27.

Tabla 2.27 Esfuerzos fluctuantes en el eje primario

| Marcha | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Número de engrane** | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **$\sigma_a$(MPa)** | 42.15 | 79.97 | 71.54 | 11.25 |
| **$\sigma_m$(MPa)** | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente (autores, 2016)

- **Esfuerzo cortante ($\tau$).-** Se calcula mediante la ecuación 2.26.

$$\tau = \frac{16 \times T}{\pi d^3} \quad (2.26)$$

Dónde:

T es el torque, y $d$ es el diámetro de eje en el punto analizado.

- **Esfuerzo cortante máximo ($\tau_{max}$).-** Se obtiene mediante el torque máximo al cuál va a funcionar la caja de velocidades en cada cambio; para el punto crítico será de 81.65 Nm y se calcula con la ecuación 2.26 como se observa en el tabla 2.28.
- **Esfuerzo cortante mínimo ($\tau_{min}$).-** Se obtienen por medio del torque mínimo al cuál va a funcionar la caja de velocidades en cada cambio; para el punto crítico será de 15.82 Nm y se consigue por la ecuación 2.26, como se observa en la tabla 2.28.
- **Componente de amplitud ($\tau_a$).-** Se determina con la ecuación 2.27:
  - $\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$ (2.27)

- **Componente de esfuerzo medio ($\tau_m$).-** Se determina con la ecuación 2.28:
  - $\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$ (2.28)

Dónde:

$\tau_{max}$ es el esfuerzo cortante máximo (Mpa), $\tau_{min}$ es el esfuerzo cortante mínimo (Mpa). Los valores obtenidos para cada cambio; se observan en la tabla 2.28.

- **Combinaciones de modos de carga.-** Ayuda a obtener los esfuerzo efectivos $\sigma`_a \; y \; \sigma`_m$, mediante las ecuaciones 2.29 y 2.30.

$$\sigma`_a = \left\{\left[(kf)_{flexion}(\sigma_a)_{flexion} + (kf)_{axial}\frac{(\sigma_a)_{axial}}{0{,}85}\right]^2 + 3[(kfs)_{torsion}(\tau_a)_{torsion}]^2\right\}^{1/2} \quad (2.29)$$

$$\sigma`_m = \left\{\left[(kf)_{flexion}(\sigma_m)_{flexion} + (kf)_{axial}\,(\sigma_a)_{axial}\right]^2 + 3[(kfs)_{torsion}(\tau_m)_{torsion}]^2\right\}^{1/2} \quad (2.30)$$

Dónde:

$(kf)_{flexion}$ es el factor de concentración de esfuerzos para flexión según (Faires) tiene un valor de 2, $(kf)_{axial}$ es el factor de concentración de esfuerzos

axiales al no tener un esfuerzo axial este es 0, $(kfs)_{torsion}$ es el factor de concentración de esfuerzos torsionales según (vanegas) tiene un valor 1.6.

Tabla 2.28 Esfuerzos cortantes en el eje primario

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Número de engrane** | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **T máx. (Nm)** | 179.64 | 96.5 | 65.31 | 48.99 |
| **T mín. (Nm)** | 46.63 | 24.46 | 16.43 | 12.74 |
| $\boldsymbol{\tau_{máx}}$**(MPa)** | 24.03 | 15.82 | 15.14 | 13.61 |
| $\boldsymbol{\tau_{mín}}$**(MPa)** | 15.53 | 5.13 | 3.45 | 2.4 |
| $\boldsymbol{\tau_a}$ **(MPa)** | 4.25 | 5.34 | 5.85 | 5.60 |
| $\boldsymbol{\tau_m}$ **(MPa)** | 19.78 | 10.47 | 9.29 | 8.01 |

Fuente (autores, 2016)

Aplicando las ecuaciones 2.29 y 2.30 se obtienen los valores especificados en la tabla 2.29.

Tabla 2.29 Esfuerzo efectivos en el eje primario

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Numero de engrane** | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $\boldsymbol{\sigma`_a}$ **(MPa)** | 85.1 | 160.6 | 144.0 | 27.3 |
| $\boldsymbol{\sigma`_m}$**(MPa)** | 54.82 | 29.03 | 25.76 | 22.18 |

Fuente (autores, 2016)

- **Límite de resistencia a la fatiga (Se).-** Se calcula mediante la ecuación 2.31

$$S_e = S_e` \times k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \quad (2.31)$$

Dónde:

- **Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria ($S_e$`).-** Se calcula mediante la fórmula 2.32.

$$S_e` = 0{,}5\ (S_{ut}) \tag{2.32}$$

De acuerdo a la tabla 2.23, el valor de $S_{ut}$ es de 800 MPa. Por lo que el valor de $S_e`$ Será:

$$S_e` = 400 \text{ MPa.}$$

- **Factor de superficie ($K_a$).-** Se calcula mediante la ecuación 2.33.

$$K_a = a \times {S_{ut}}^b \tag{2.33}$$

  Los valores de a y b son extraídos del anexo 8, tomando en cuenta el acabado superficial como maquinado o laminado en frio, y da un valor de:

  a = 4.51 b = -0,265

  Dando un valor final de:

$$K_a = 0{,}76711$$

- **Factor de tamaño ($K_b$).-** Depende del diámetro del eje en donde se va a analizar. Este valor se toma de la tabla del anexo 9 y al tener un diámetro de 24,7 mm corresponde a la ecuación 2.34.

$$K_b = 1{,}24d^{-0.107} \tag{2.34}$$

Se obtiene un valor de:

$$K_b = 0.879839$$

- **Factor de carga ($K_c$).-** Se asume un valor de $K_c = 1$ al ser una carga flexionante.

- **Factor de temperatura ($K_d$).-** Debido a que la temperatura a la cual va a funcionar la caja de cambios no va a superar los 100ºC; se asume un valor de la tabla del anexo 10 de:

$$K_d = 1$$

- **Factor de confiabilidad ($K_e$).-** Se asume una confiabilidad de un 50%, con un valor de la tabla del anexo 11 de :

$$K_d = 1$$

- **Cálculo de límite de resistencia a la fatiga (Se).-** Mediante la ecuación 2.31 se obtiene:

$$S_e = 400 * 0.767 * 0.88 * 1 * 1 * 1$$

$$S_e = 266{,}45 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad según Goodman Modificado.-** Se calcula mediante la fórmula 2.35.

$$n_f = \left( \frac{1}{\frac{\sigma_a`}{S_e} + \frac{\sigma_m`}{S_{ut}}} \right) \quad (2.35)$$

Lo que da un resultado de:

$$n_f = 2.28$$

**2.4.2 Eje secundario.-** Consta de los engranes y el eje conjuntamente, en la figura 2.6 se observa el eje secundario.

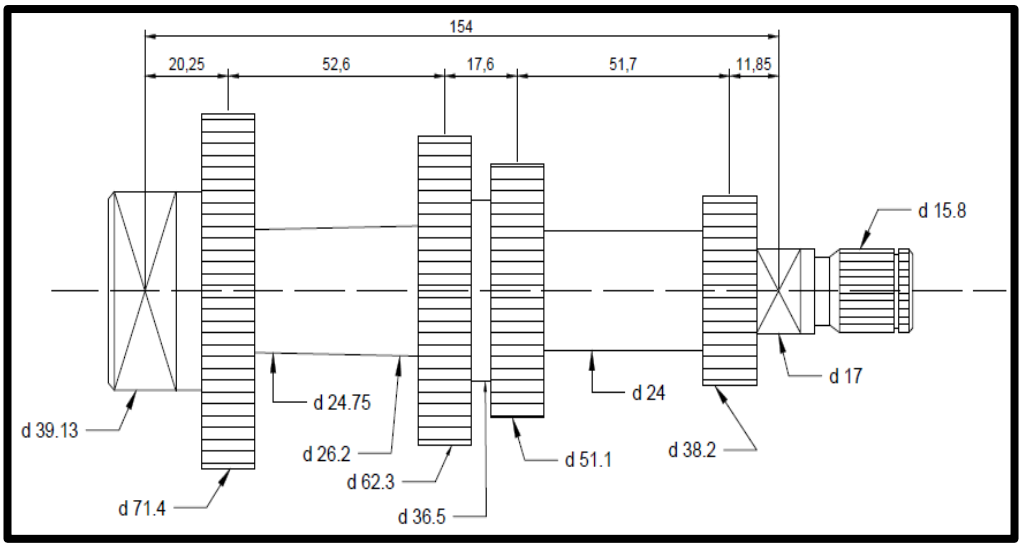



Fig. 2.6 Esquema del eje secundario

Fuente (autores, 2016)

- **Diagrama de cuerpo libre.-** Incorpora todas las fuerzas que actúan sobre el eje, para determinar las reacciones que ocurren en los apoyos como se observa en la figura 2.7.

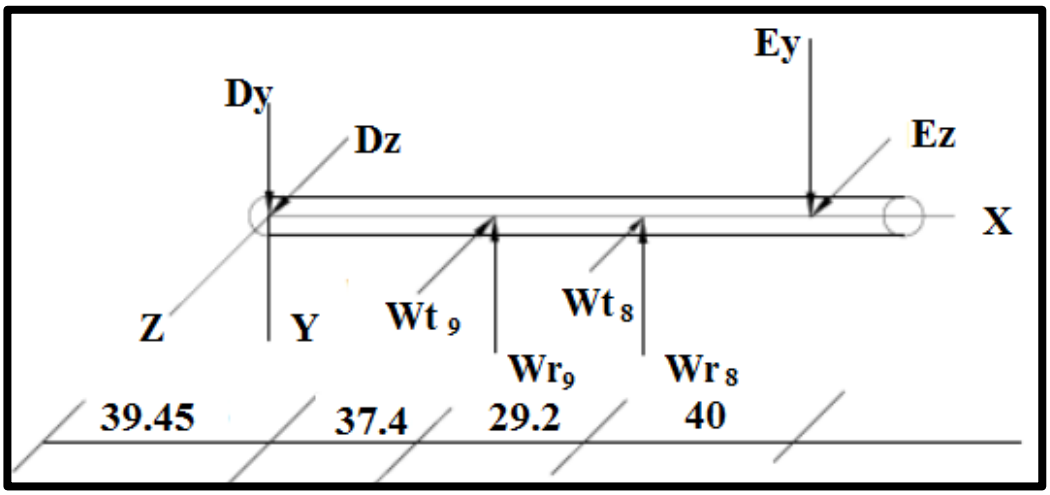



Fig. 2.7 Diagrama de cuerpo libre

Fuente (autores, 2016)

Dónde:

$D_z$ y $D_y$ son las reacciones del rodamiento D, $E_z$ y $E_y$ son las reacciones del rodamiento E, $Wr_8$ y $Wt_8$ es la reacción radial y tangencial del engrane 8 y $Wr_9$ y $Wt_9$ es las reacción radial y tangencial del engrane 9.

- **Reacciones.-** El eje posee dos apoyos y se determinan mediante las ecuaciones:

$$\sum F_y = 0 \qquad (2.36)$$

$$\sum M_D = 0 \qquad (2.37)$$

$$\sum M_E = 0 \qquad (2.38)$$

Donde:

$\sum F_y$ son las fuerza que actúan en el plano XY, $M_D$ el momento que se realiza en el punto D y $M_E$ el momento que se realiza en el punto E.

En la tabla 2.30 se observan las reacciones en los apoyos obtenidas mediante las ecuaciones 2.36, 2.37, 2.38.

Tabla 2.30 Reacciones en apoyos

| Apoyo | D | | E | |
|---|---|---|---|---|
| **Plano** | $D_{XY}$ | $D_{XZ}$ | $E_{XY}$ | $E_{XZ}$ |
| **Primera marcha (N)** | 2746 | 2035.3 | 1646.75 | 4714.63 |
| **Segunda marcha (N)** | 1765.08 | 2907.78 | 1035.98 | 3866.34 |
| **Tercera marcha (N)** | 1005.31 | 846.36 | 1438.05 | 3158.68 |
| **Cuarta marcha (N)** | 293.22 | 1934.79 | 65 | 242.61 |

Fuente (XVIGAS, 2015)

Al determinar las reacciones en cada plano se usa la ecuación 2.20 para encontrar la fuerza resultante en cada apoyo, como se observa en la tabla 2.31.

Tabla 2.31 Fuerza resultante de los apoyos

| Apoyo | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **RD (N)** | 3418.52 | 3401.57 | 1754.6 | 1956.88 |
| **RE (N)** | 4993.95 | 40002.74 | 3270.11 | 251.17 |

Fuente (autores, 2016)

- **Cálculo del momento flector.-** Mediante la ecuación 2.18 las reacciones determinadas en la tabla 2.31 y la figura 2.7 se establece el momento flector para cada marcha como indica la tabla 2.32.

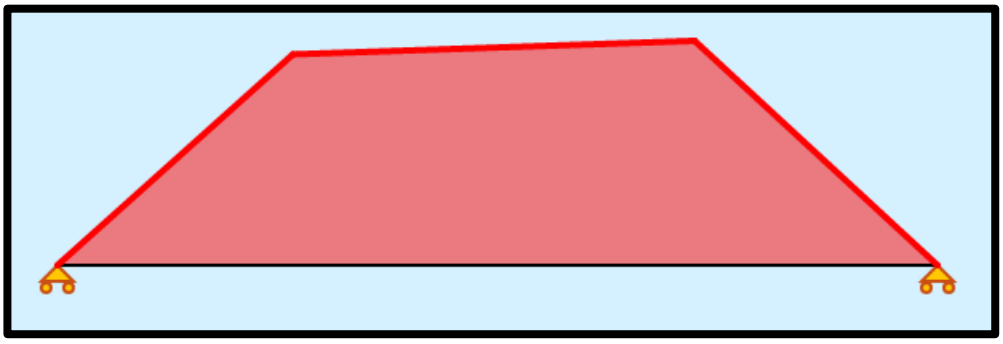
Tabla 2.32 Momento flector

| Marcha | Engranaje | Momento XY (Nm) | Momento XZ (Nm) |
|---|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 33.75 | 96.64 |
| **Segunda** | 3 | 75.93 | 283.40 |
| **Tercera** | 4 | 82.52 | 307.97 |
| **Cuarta** | 5 | 9.94 | 37.12 |

Fuente (autores, 2016)

En la figura 2.8 se observa el momento flector máximo perteneciente a tercera velocidad, siendo el engrane 8, se establece el punto crítico debido que sus momentos en cada plano son los mayores.

Plano XY



Plano XZ

Fig. 2.8 Diagrama de momento flector máximo (eje secundario)

Fuente (XVIGAS, 2015)

Mediante la ecuación 2.19 se determina el momento flector resultante, que se observa en la tabla 2.33 para cada cambio

Tabla 2.33 Momento flector resultante

| Marcha | Engrane | Momento (Nm) |
|---|---|---|
| **Primera** | 2 | 102.37 |
| **Segunda** | 3 | 293.40 |
| **Tercera** | 4 | 318.83 |
| **Cuarta** | 5 | 38.42 |

Fuente (autores, 2016)

**2.4.2.1 Cálculo de torque.-** Estos valores se determinan por la ecuación 2.21 y 2.22 y se observan en la tabla 2.34

Tabla 2.34 Torques máximo y mínimo (eje secundario)

| Eje | Torque | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|---|
| **Secundario** | Máx. (Nm) | 81.65 | 81.65 | 81.65 | 81.65 |
| | Mín. (Nm) | 46.63 | 24.46 | 16.43 | 12.74 |

Fuente (autores, 2016)

**2.4.2.2 Propiedades del material del eje.-** Esto valores se pueden observar en la tabla 2.35.

Tabla 2.35 Características y propiedades del material de construcción del eje

| **Material AISI 8620** | |
|---|---|
| **Tratamiento Cementado** | |
| **Temp.(ºC) 100** | Valor |
| **Resistencia a la tensión ($S_{ut}$) (Mpa)** | 981 |
| **Resistencia a la Fluencia ($S_y$) (Mpa)** | 441.45 |
| **Dureza (Brinell** | 593 |

Fuente (Nisbett, 2008)

**2.4.2.3 Análisis utilizando teoría de Goodman Modificado.-** Se procede de la misma manera que para el eje primario.

**2.4.2.4 Esfuerzos fluctuantes.-** Se calcula de la misma forma que para el eje primario, mediante la ecuación 2.23 se obtiene el esfuerzo máximo y mínimo como se indica en la tabla 2.36

- **Componente de amplitud.-** Se calcula por medio de la ecuación 2.24 como indica en la tabla 2.36
- **Componente de esfuerzo medio.-** Se la determina por la ecuación 2.25 y se indica en la tabla 2.36.

Tabla 2.36 Esfuerzos fluctuantes en el eje primario

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| $\sigma_{max}$**(MPa)** | 43.61 | 32.8 | 112.68 | 3.9 |
| $\sigma_{min}$**(MPa)** | 43.61 | 32.8 | 112.68 | 3.9 |
| $\sigma_a$**(MPa)** | 43.61 | 32.8 | 112.68 | 3.9 |
| $\sigma_m$**(MPa)** | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente (autores, 2016)

- **Esfuerzo cortante.-** Se calcula mediante la ecuación 2.26
- **Esfuerzo cortante máximo ($\tau_{max}$).-** Se calcula mediante la ecuación 2.26 con un torque de 81.65 Nm como se indica en la tabla 2.32
- **Esfuerzo cortante mínimo ($\tau_{min}$).-** Se calcula con el torque mínimo para cada marcha y se obtiene por medio de la ecuación 2.26. como se indica en la tabla 2.37
- **Componente de amplitud.-** Se la determina con la ecuación 2.27 y su valor para cada marcha se indica en la tabla 2.37
- **Componente de esfuerzo medio.-** Se determina con la ecuación 2.28 y su valor se indica en la tabla 2.37

Tabla 2.37 Esfuerzos cortantes en el eje primario

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Número de engrane** | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **T max (Nm)** | 81.65 | 81.65 | 81.65 | 81.65 |
| **T min (Nm)** | 46.36 | 24.46 | 16.43 | 12.74 |
| $\boldsymbol{\tau_{max}}$**(MPa)** | 17.39 | 4.56 | 14.43 | 4.14 |
| $\boldsymbol{\tau_{min}}$**(MPa)** | 9.93 | 1.37 | 2.90 | 2.36 |
| $\boldsymbol{\tau_a}$ **(MPa)** | 3.73 | 1.6 | 5.76 | 0.89 |
| $\boldsymbol{\tau_m}$ **(MPa)** | 13.66 | 2.97 | 8.67 | 3.25 |

Fuente (autores, 2016)

- **Combinaciones de modos de carga.-** Se obtienen mediante las ecuaciones 2.29 y 2.30.

  Los valores de q y $kf$ son $(q)_{flex} = 0.95$, $(q)_{tor} = 0.98$, $(kt)_{flex}$= 1.65 $(kt)_{tor}$= 1.4 que se obtienen de las tablas de los anexos 12 Aplicando estos valores en la ecuación 2.36.

$$kf = 1 + q(Kt - 1) \tag{2.39}$$

  Se obtiene $(kf)_{flexion} = 1.6175$, $(kf)_{torsion} = 1{,}392$ y $(kf)_{axial} = 0$ porque no hay componente axial en los engranes rectos; estos valores son aplicados únicamente al cambio de sección del cambio de tercera por ser el punto crítico del eje.

  Aplicando las ecuaciones: 2.29 y 2.30 se obtienen los valores especificados en la tabla 2.38.

- **Límite de resistencia a la fatiga Se.-** Se calcula mediante la ecuación 2.31

Tabla 2.38 Esfuerzo efectivos en el eje primario

| | Primera | Segunda | Tercera | Cuarta |
|---|---|---|---|---|
| **Número de engrane** | 6 | 7 | 8 | 9 |
| **$\sigma`_a$ (MPa)** | 114.9 | 56.3 | 182.8 | 6.2 |
| **$\sigma`_m$(MPa)** | 51.49 | 7.65 | 20.90 | 8.39 |

Fuente (autores, 2016)

- **Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria S`e.-** Se calcula mediante la ecuación 2.32:

  De acuerdo a la tabla 2.33, el valor de $S_{ut}$ da un valor de 981 MPa. Por lo que el valor de $S´_e$. Será:

  $S´_e$= 490.5 MPa.

- **Factor de superficie Ka.-** Se calcula mediante la ecuación 2.33.

  Los valores son iguales a los del eje primario; ya que cuenta con un acabado superficial como maquinado o laminado en frio y da un valor de:

  a = 4.51 b = -0,265

  Dando un valor final de:

  Ka = 0,7267

- **Factor de tamaño Kb.-** Se calcula con la ecuación 2.34; ya que tiene un diámetro menor a 50 mm; por lo que da un valor de:

  $K_b = 0.86837$

- **Factor de carga Kc.-** Se asume un valor de Kc = 1 al ser una carga flexionante
- **Factor de temperatura Kd.-** Debido a que la temperatura a la cual va a funcionar la caja de cambio, no va a superar los 100ºC. se asume un valor de la tabla del anexo 10:

  Kd = 1

- **Factor de confiabilidad Ke.-** Se asume un valor de confiabilidad de 50%, con un valor de la tabla del anexo 10 de :

Ke = 1

- **Cálculo de límite de resistencia a la fatiga Se.-** Mediante la ecuación 2.31 se obtiene:

$$S_e = 400 * 0.7267 * 0.87 * 1 * 1 * 1$$

$$S_e = \text{ 309.55 MPa}$$

- **Factor de seguridad según Goodman Modificado.-** Se calcula mediante la fórmula 2.35, que da un resultado de :

$$n_f = 2.53$$

**2.5 Rodillos.-** Son los encargados de absorber las reacciones ocasionadas por las fuerzas que actúan sobre el eje; debido que tiene variaciones de la velocidad angular y de las reacciones, la carga que soporta no va a ser constante; por lo que, se obtiene una fuerza media que se indica en la ecuación 2.40.

$$F_m = \frac{{F_1}^{10/3} n_1 t_1 + {F_2}^{10/3} n_2 t_2 + {F_3}^{10/3} n_3 t_3 + {F_4}^{10/3} n_4 t_4 \ldots + {F_i}^{10/3} n_i t_i}{n_1 t_1 + n_2 t_2 + n_3 t_3 + n_4 t_{4\ldots} + n_i t_i} \qquad (2.40)$$

Dónde:

$F_m$ es la fuerza media (N), $F_{(1,2,3,4,\ldots i_n)}$ es la fuerza de cada marcha (N), $n_{(1,2,3,4,\ldots i_n)}$ es la velocidad angular en cada marcha (rpm) y $t_{(1,2,3,4,\ldots i_n)}$ es el tiempo de operación de cada marcha (min).

La velocidad angular con la cual opera cada marcha, se indica en la tabla 2.39

Tabla 2.39 Velocidad angular en cada marcha

| Marcha | Velocidad angular (rpm) |
|---|---|
| **Primera** | 1363.64 |
| **Segunda** | 2538.46 |
| **Tercera** | 3857.14 |
| **Cuarta** | 5600.00 |

Fuente (autores, 2016)

Mediante los ciclos UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) se establece el tiempo de operación de cada marcha, para un recorrido de 300000 km y se obtiene la tabla 2.40.

Tabla 2.40 Tiempos de operación de cada marcha

| Marcha | Tiempo (min) | Tiempo (h) |
|---|---|---|
| **Primera** | 218094,074 | 3634,90 |
| **Segunda** | 203081,863 | 3385,69 |
| **Tercera** | 105502,487 | 1758,37 |
| **Cuarta** | 44202,623 | 736,71 |

Fuente (autores, 2016)

La vida del rodamiento se establece por el número vueltas a las que puede girar, para determinarlas se usa la ecuación 2.41.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_m}\right)^3 \qquad (2.41)$$

Dónde:

$L_{10}$ son las revoluciones a las que puede girar el rodamiento antes de producirse el daño y $C$ es la carga dinámica (N).

**2.5.1 Eje primario.-** Posee dos rodamientos, 3305 ubicado en el apoyo A y el 6206 ubicado en B respectivamente, como se indica en la figura (2.4).

**2.5.1.1 Rodamiento 3305.-** Según el catálogo SKF, su carga dinámica es de 30000 N, que se observa en el anexo 13.

De acuerdo con la ecuación 2.40 la fuerza media aplicada es:

$$F_m = 229.77\ N$$

Mediante la ecuación 2.41 se obtiene los ciclos de funcionamiento:

$$L_{10} = 2.36\ x10^9\ rev.$$

Según el catálogo SKF, el tiempo de vida del rodamiento está entre 10000 horas que es igual a $1.91\ x10^9\ rev.$ y 25000 horas de trabajo que es igual a $4.78\ x10^9\ rev.$ como se observa en el anexo 14.

Al transformar las revoluciones a horas se obtiene:

$$L_{10h} = 13097.11\ h$$

Lo que indica que el rodamiento si cumple con el rango de duración.

**2.5.1.2 Rodamiento 6206.-** Según el catálogo SKF, la carga dinámica es de 20700 N como se observa en el anexo 15 donde:

De acuerdo con la ecuación 2.40 la fuerza media es:

$$F_m = 145.64\ N$$

Al utilizar la ecuación 2.41 se obtiene los ciclos de funcionamiento:

$$L_{10} = 2.54\ x10^9\ rev$$

Según el catálogo SKF, el tiempo de vida del rodamiento está entre 10000 horas que es igual a 1.91 $x10^9\ rev.$ y 25000 horas de trabajo que es igual a 4.78 $x10^9\ rev.$ como se observa en el anexo 13.

Al transformar las revoluciones a horas se obtiene:

$$L_{10h} = 14124.73\ h$$

Lo que indica que el rodamiento sí cumple con el rango de duración.

**2.5.2 Eje secundario.-** Dispone de dos rodamiento de modelo 6304, su carga dinámica es de 16900 N, como se indica en el anexo 16 por la ecuación 2.40 se encuentra:

$$F_m = 120.39\ N$$

Al utilizar la ecuación 2.41 se obtiene los ciclos de funcionamiento:

$$L_{10} = 2.93\ x10^9\ rev$$

Según el catálogo SKF, el tiempo de vida del rodamiento está entre 10000 horas que es igual a 1.8 $x10^9\ rev.$ y 25000 horas de trabajo que es igual a 4.5 $x10^9\ rev.$ como se observa en el anexo 14.

Al transformar las revoluciones a horas se obtiene:

$$L_{10h} = 16277\ h$$

Lo que indica que el rodamiento sí cumple con el rango de duración.

# CAPÍTULO III

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las operaciones que se realizan para la construcción de los engranes rectos; así como, el tratamiento térmico al cual fueron sometidos para su endurecimiento.

### Construcción

**3.1 Planos de construcción**.- Son los esquemas de los elementos a construir, estos se indican en los anexos 17. La numeración para cada elemento a construir, se la establece en la lámina 1 correspondiente al conjunto completo.

**Planos de construcción:**

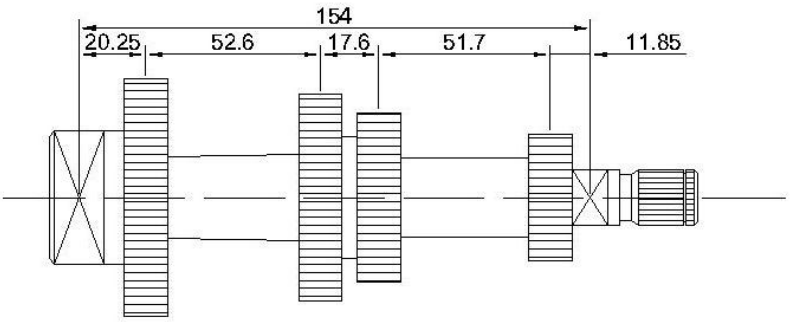
- Conjunto completo (lámina 1)
- Eje primario (lámina 2)
- Eje secundario con sus respectivos engranes. (lámina 3)
- Corte seccionado del eje secundario (lámina 4)
- Engrane número 10 o primera marcha del eje primario (lámina 5)
- Engrane número 9 o segunda marcha del eje primario (lámina 6)
- Engrane número 8 o tercera marcha del eje primario (lámina 7)
- Engrane número 7 o cuarta marcha del eje primario (lámina 8)

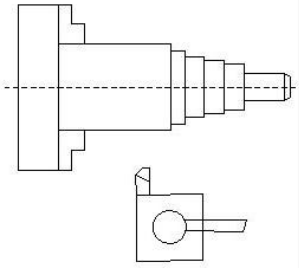
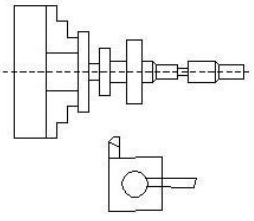
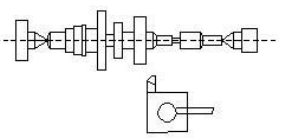
### 3.2 Proceso de construcción

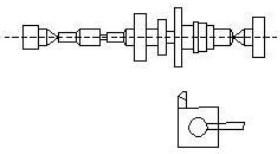
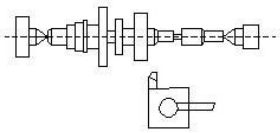
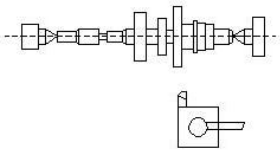
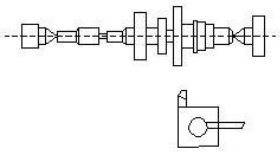
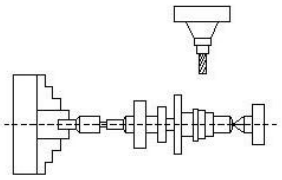
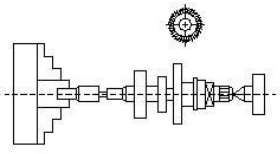
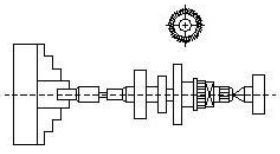
**3.2.1 Hojas de trabajo.-** Es la guía de trabajo con la cual se van a realizar las operaciones de construcción de los siguientes elementos:

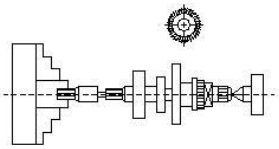
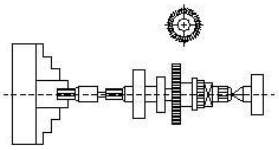
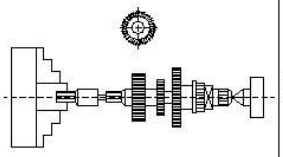
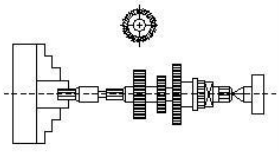
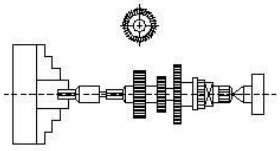
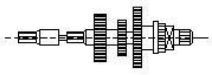
- Eje secundario y engranes (Proceso de trabajo 1)
- Engrane número 10 o primera marcha (Proceso de trabajo 2)
- Engrane número 9 o segunda marcha (Proceso de trabajo 3)
- Engrane número 8 o tercera marcha (Proceso de trabajo 4)
- Engrane número 7 o cuarta marcha (Proceso de trabajo 5)

| UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA<br>ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL | | Nombre: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente<br>Ciclo: |
|---|---|---|
| Material: AISI 8620 o Bohman 7210 | CICLO DE OPERACIONES | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| Denominación: Eje Secundario | | Nº: 1 / Año: 2016 |

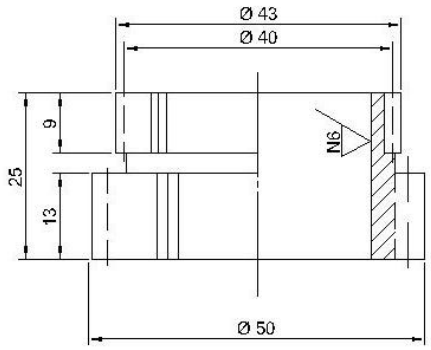


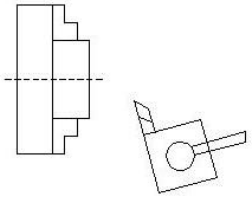
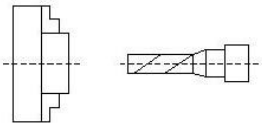
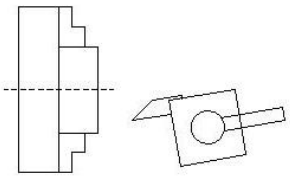
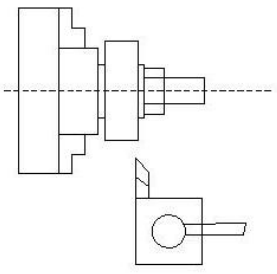

| Fase | Ope | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Desbaste de diámetros del eje a sobremedida parte delantera |  | cuchilla cilindrar liquido refrig. mandril | calibrador | manual | 28 | 200 | 2 |
| 2 | | Desbaste de diámetros del eje a sobremedida parte posterior |  | cuchilla cilindrar liquido refrig. mandril | calibrador | manual | 28 | 200 | 2 |
| 3 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior |  | cuchilla refrentar liquido refrig. mandril | calibrador | manual | 32 | 260 | 2 |

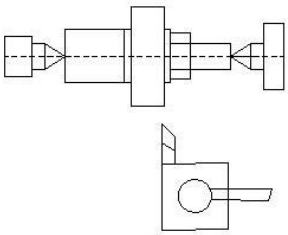
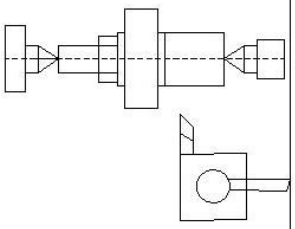
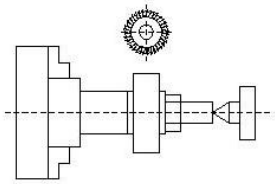
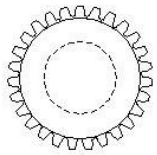
| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte delantera |  | cuchilla refrentar liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 260 | 2 |
| 5 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte delantera con tolerancias |  | cuchilla refrentar liquido refrig. | calibra dor micro-metro | manual | 32 | 260 | 1 |
| 6 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior con tolerancias |  | cuchilla refrentar liquido refrig. | calibra dor micro-metro | manual | 32 | 260 | 1 |
| 7 | | Torneado entre puntas de las ranurasdel eje |  | cuchilla ranurar liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 300 | 1.5 |
| 8 | | Fresado de areas planas |  | fresa de vastago divisor universal liquido refrig. puntos mandril | calibra dor | manual | 28 | 300 | 1.5 |
| 9 | | Fresado de las muescas en la parte delantera |  | fresa de ranurar divisor universal liquido refrig. puntos mandril | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 10 | | Fresado de las muescas en los diámetros del eje |  | fresa de ranurar divisor universal liquido refrig. puntos mandril | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | | Fresado de las muescas en la parte delantera |  | fresa de ranurar divisor universal liquido refrig. puntos mandril | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 12 | | Fresado de 15 dientes rectos con un modulo de 2.5 mm |  | fresa cilindrica modular divisor universal liquido refrig. puntos | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 13 | | Fresado de 22 dientes rectos con un modulo de 2.5 mm |  | fresa cilindrica modular divisor universal liquido refrig. puntos | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 14 | | Fresado de 27 dientes rectos con un modulo de 2.5 mm |  | fresa cilindrica modular divisor universal liquido refrig. puntos | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 15 | | Fresado de 30 dientes rectos con un modulo de 2.5 mm |  | fresa cilindrica modular divisor universal liquido refrig. puntos | calibra dor | manual | 28 | 150 | 2 |
| 16 | | Cementado del eje |  | horno de cementacion | tabla de colores para metales | | | | 6 |

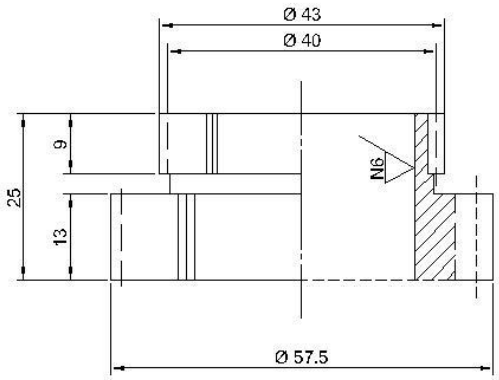
| UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA<br>ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL | | Nombre: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente<br>Ciclo: |
|---|---|---|
| Material: AISI 8620 o Bohman 7210 | CICLO DE OPERACIONES | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| Denominacion: Engrane de Primera | | Nº: 2 / Año: 2016 |

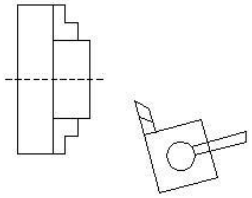
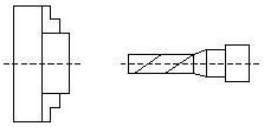
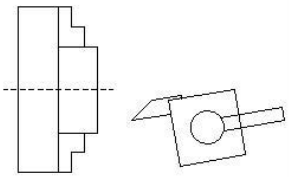
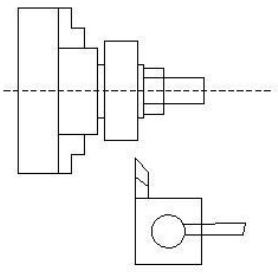


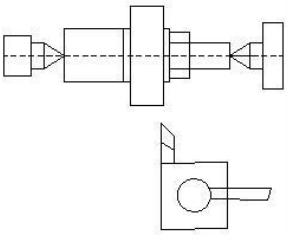
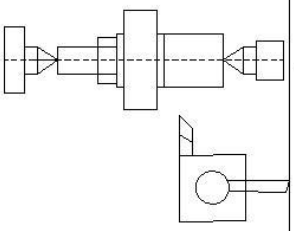
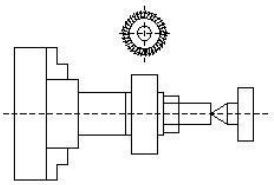
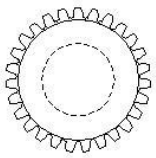

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Refrentado y centrado de caras |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 2 | | Perforado de boquete para alojar al eje |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril broca | calibra dor | manual | 28 | 700 | 2 |
| 3 | | Torneado de boquete con tolerancias |  | cuchilla desvaste interiores liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 4 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Verif. | Avance | de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 200 | 1.5 |
| 6 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 260 | 2 |
| 7 | | Fresado de 33 dientes rectos con modulo de 2.5 |  | fresa de ranurar fresa modular divisor universal liquido refrig. puntos puntol | calibra dor | manual | 28 | 150 | 3 |
| 8 | | Cementado del engrane |  | horno de cementacion | | | | | 3 |

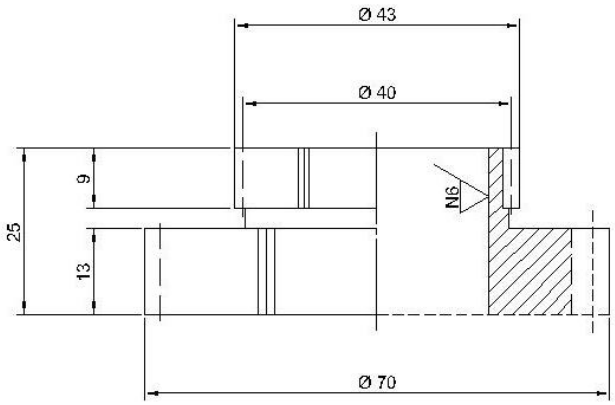
| UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA<br>ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL | | Nombre: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente |
|---|---|---|
| | | Ciclo: |
| Material: AISI 8620 o Bohman 7210 | CICLO DE OPERACIONES | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| Denominacion: Engrane de Segunda | | N°: 3 — Año: 2016 |

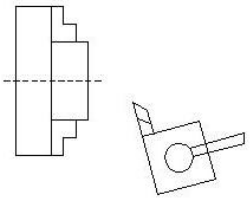
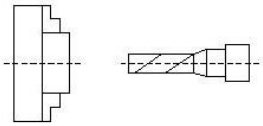
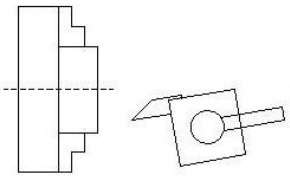
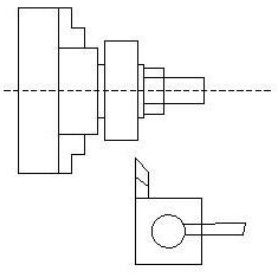


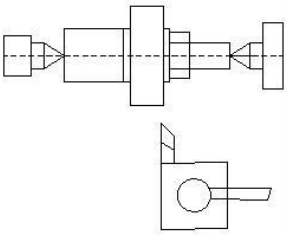
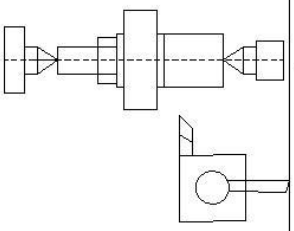
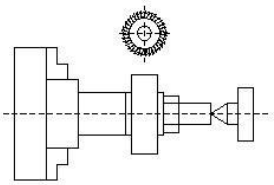
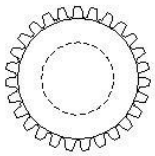

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Refrentado y centrado de caras |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 2 | | Perforado de boquete para alojar al eje |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril broca | calibra dor | manual | 28 | 700 | 2 |
| 3 | | Torneado de boquete con tolerancias |  | cuchilla desvaste interiores liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 4 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 200 | 1.5 |
| 6 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 260 | 2 |
| 7 | | Fresado de 26 dientes rectos con modulo de 2.5 |  | fresa de ranurar fresa modular divisor universal liquido refrig. puntos puntol | calibra dor | manual | 28 | 150 | 3 |
| 8 | | Cementado del engrane |  | horno de cementacion | | | | | 3 |

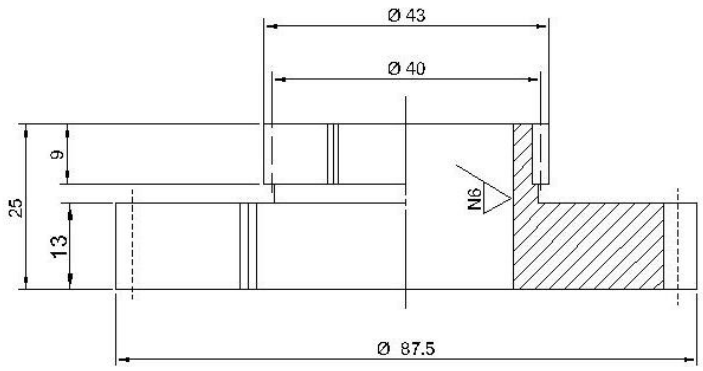
| UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA<br>ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL | | Nombre: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente<br>Ciclo: |
|---|---|---|
| Material: AISI 8620 o Bohman 7210 | CICLO DE OPERACIONES | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| Denominacion: Engrane de Tercera | | Nº: 4 Año: 2016 |



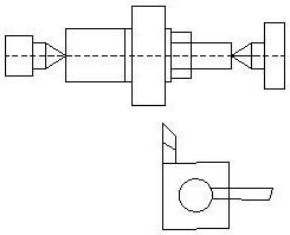
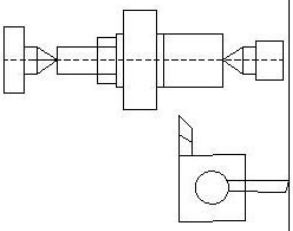
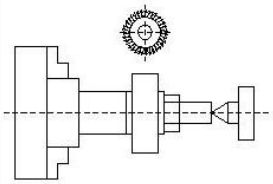
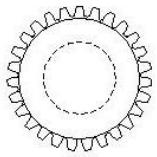

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Refrentado y centrado de caras |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 2 | | Perforado de boquete para alojar al eje |  | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril broca | calibra dor | manual | 28 | 700 | 2 |
| 3 | | Torneado de boquete con tolerancias |  | cuchilla desvaste interiores liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 4 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 200 | 1.5 |
| 6 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 260 | 2 |
| 7 | | Fresado de 21 dientes rectos con modulo de 2.5 |  | fresa de ranurar fresa modular divisor universal liquido refrig. puntos puntol | calibra dor | manual | 28 | 150 | 3 |
| 8 | | Cementado del engrane |  | horno de cementacion | | | | | 3 |

| | | |
|---|---|---|
| UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA<br>ESCUELA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL | | Nombre: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente<br>Ciclo: |
| Material: AISI 8620 o Bohman 7210 | CICLO DE OPERACIONES | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| Denominacion: Engrane de Cuarta | | Nº: 5 / Año: 2016 |




| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Refrentado y centrado de caras | | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 2 | | Perforado de boquete para alojar al eje | | cuchilla desvaste liquido refrig. mandril broca | calibra dor | manual | 28 | 700 | 2 |
| 3 | | Torneado de boquete con tolerancias | | cuchilla desvaste interiores liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |
| 4 | | Desbaste de diametros | | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 28 | 200 | 2 |

| Fase | Oper | Designacion | Croquis | Util | Herr. Verif. | Avance | Veloc de Corte | RPM | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | | Desbaste de diametros |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 200 | 1.5 |
| 6 | | Torneado entre puntos de los diámetros de la parte posterior |  | cuchilla desvaste liquido refrig. | calibra dor | manual | 32 | 260 | 2 |
| 7 | | Fresado de 18 dientes rectos con modulo de 2.5 |  | fresa de ranurar fresa modular divisor universal liquido refrig. puntos puntol | calibra dor | manual | 28 | 150 | 3 |
| 8 | | Cementado del engrane |  | horno de cementacion | | | | | 3 |

**3.2.2 Evidencias del proceso de construcción.- S**on las fotografías del trabajo a realizar en cada elemento construido, tales como:

**3.2.2.1 Engrane número 10.-** En la figura 3.1 se indica el piñón de primera velocidad perteneciente al eje primario siendo fresado de acuerdo a los planos.

Fig. 3.1 Fresado del engrane 10

Fuente (autores, 2016)

**3.2.2.2 Engrane número 9.-** En la figura 3.2 se observa la operación de fresado del engrane; mediante la cual, se obtiene el número de dientes calculados en el capítulo II, y su construcción se realiza a partir de los planos.

Fig. 3.2 Fresado del engrane 9

Fuente (autores, 2016)

**3.2.2.3 Engrane número 8.-** En la figura 3.3 se observa el fresado que se realiza al engrane de tercera velocidad del eje primario, además el acople que se realiza al sincronizador para su adaptación.

Fig. 3.3 Fresado de los dientes rectos

Fuente (autores, 2016)

**3.2.2.4 Engrane numero 7.-** En la figura 3.4 se observa el material en bruto que se utilizó para la fabricación de piloto y el engrane de cuarta velocidad.

Fig. 3.4 Material en bruto

Fuente (autores, 2016)

En la figura 3.5 se observa el material en fruto desbastado y sin los acabados como son: de ranuras, engrane y demás.

Fig. 3.5 Desbaste de material

Fuente (autores, 2016)

**3.2.2.5 Eje secundario y engranes.-** En la fig. 3.6, se observa el eje secundario, al cual se desbasta material con el fin de dar la forma deseada según el plano de la lámina 3 del anexo 17.

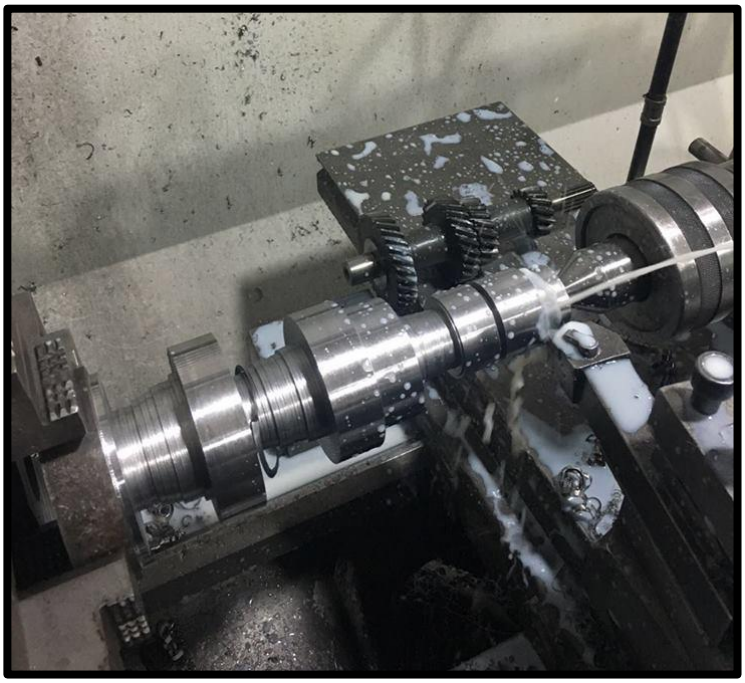


Fig. 3.6 Eje Secundario, desbastado de material

Fuente (autores, 2016).

En la figura 3.7 se realiza el fresado para la fabricación de los dientes del eje secundario con una fresa modular.

Fig. 3.7 Fresado del eje secundario

Fuente (autores, 2016)

### 3.2.3 Proceso de tratamiento térmico.

**3.2.3.1 Cementación.-** Al finalizar la construcción de los elementos de transmisión en el acero AISI 8620, se procede a la aplicación del tratamiento térmico; proceso que se lo realizó en la ciudad de Guayaquil, en la planta de tratamiento de BOHLER, aplicando un proceso de cementación, el cual comprende de: calentamiento del material de 880 a 920ºC en un caja de polvo carburizante, continuamente se calienta entre 850 y 900ºC en baño de sal para forma una profundidad de cementación de 0.7 mm y finalmente se calienta de 900 a 940ºC en gas para llegar a la carbonización deseada, se empieza a reducir la temperatura a 840ºC antes de templarse. El proceso de tratamiento usado se indica en el anexo 7.

**3.3 Ensamblaje de la caja.-** Finalizada la construcción y tratamiento térmico, se procede al montaje de los elementos de transmisión al eje primario, alojándolos en el grupo sincronizador; que originalmente, posee la caja de cambios de engranajes helicoidales. Posteriormente se montan los ejes a sus respectivos acoplamientos a la placa de aluminio central perteneciente a la carcasa como se observa la figura 3.8.

Probando la holgura que existe entre los dientes rectos sea igual a 0.010 milímetros, garantizando de esta manera, una película continua de aceite para su lubricación y disminuyendo el riesgo de rotura por sobrecalentamiento.

Fig. 3.8 Ensamblaje de la caja de cambios

Fuente (autores, 2016)

# CAPÍTULO IV

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se efectuaron pruebas con la finalidad de demostrar el incremento de velocidad y potencia que teóricamente se impuso en capítulos anteriores; se realizaron pruebas de dureza y metalográficas para determinar cuan óptimo fue el tratamiento térmico de endurecimiento; además, se desarrollaron pruebas, tanto en el banco dinamométrico; así como, pruebas de pista en las cuales se utilizaron las normas correspondientes; logrando de esta manera comparar las diferencias de resultados entre las cajas; finalmente se analiza el aceite de la caja de velocidades de engranes rectos para verificar su desgaste.

### Pruebas de los engranes rectos

**4.1 Dureza del material**.- Se utiliza para determinar si la dureza alcanzada posterior al tratamiento térmico, satisface las necesidades y condiciones de funcionamiento de la caja de cambios; para lo cual, se utiliza un durómetro y se obtiene los resultados indicados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Ensayo de Durezas

| # Medición | Caja de engranes rectos (fabricados) | | Caja de engranes helicoidales (originales) |
|---|---|---|---|
| | Con cementación | Sin cementación | |
| **1** | 52.7 HRC | 33.5 HRC | 58.1 HRC |
| **2** | 55.6 HRC | 37.5 HRC | 56.3 HRC |
| **3** | 54.9 HRC | 35.9 HRC | 56.9 HRC |
| **4** | 56.1 HRC | 37.0 HRC | 57.15 HRC |
| **5** | 53.1 HRC | 36.2 HRC | 56 HRC |
| **Promedio** | 54.48 HRC | 36.02HRC | 56.89HRC |

Fuente (autores, 2016)

En la figura 4.1 se observa la medición de dureza que se realizó a los engranes rectos cementados y en la figura 4.2 la medición de los engranes helicoidales.

Fig. 4.1 Mediciones de dureza (engrane recto)

Fuente (autores, 2016)

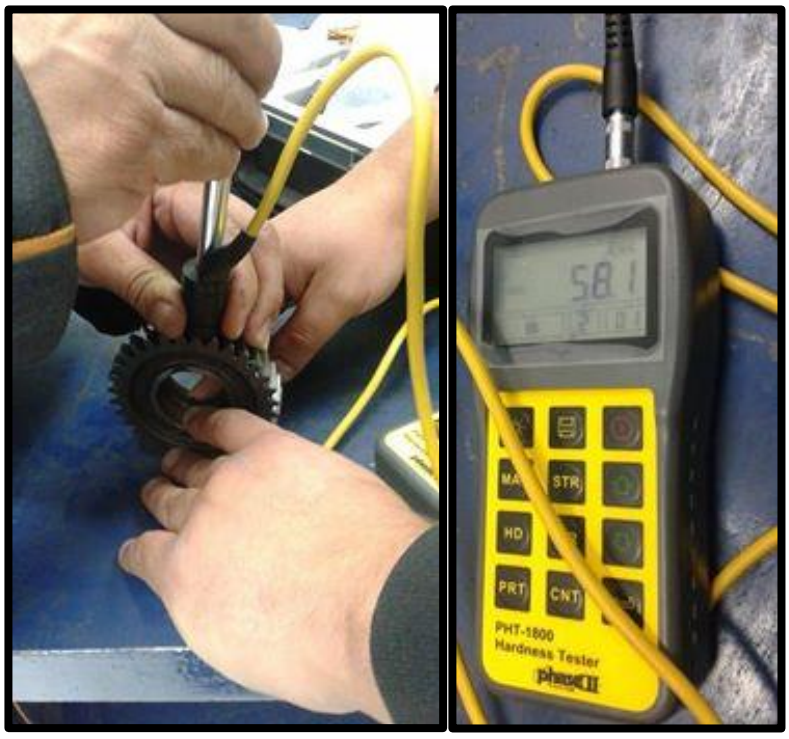



Fig. 4.2 Mediciones de dureza (engrane helicoidal)

Fuente (autores, 2016)

**4.2 Prueba metalográfica.-** Determina la calidad de la microestructura presente en la probeta; la cual, contiene una muestra del material con el que fueron fabricados los engranes. Como se indica en la figura 4.3.

Fig. 4.3 Probeta para el estudio metalográfico.

Fuente (autores, 2016)

Mediante lijas y paños se realiza el pulido de la superficie hasta obtener un acabado tipo espejo; después se realiza el ataque químico con nital número 4 ya que el material es de bajo contenido de carbono como se indica en el anexo 7; este ataque químico se lo realizó por un tiempo de treinta segundos, para obtener una superficie en la que se pueda realizar la fotografía, como se indica en la figura 4.4

Fig. 4.4 Ataque químico

Fuente (autores, 2016)

Mediante el microscopio se realiza la fotografía de la microestructura del acero AISI 8620 como se indica en la figura 4.5; la cual indica dos zonas: la cementación con una capa de 0.7 mm según el anexo 18 y la microestructura original del material.

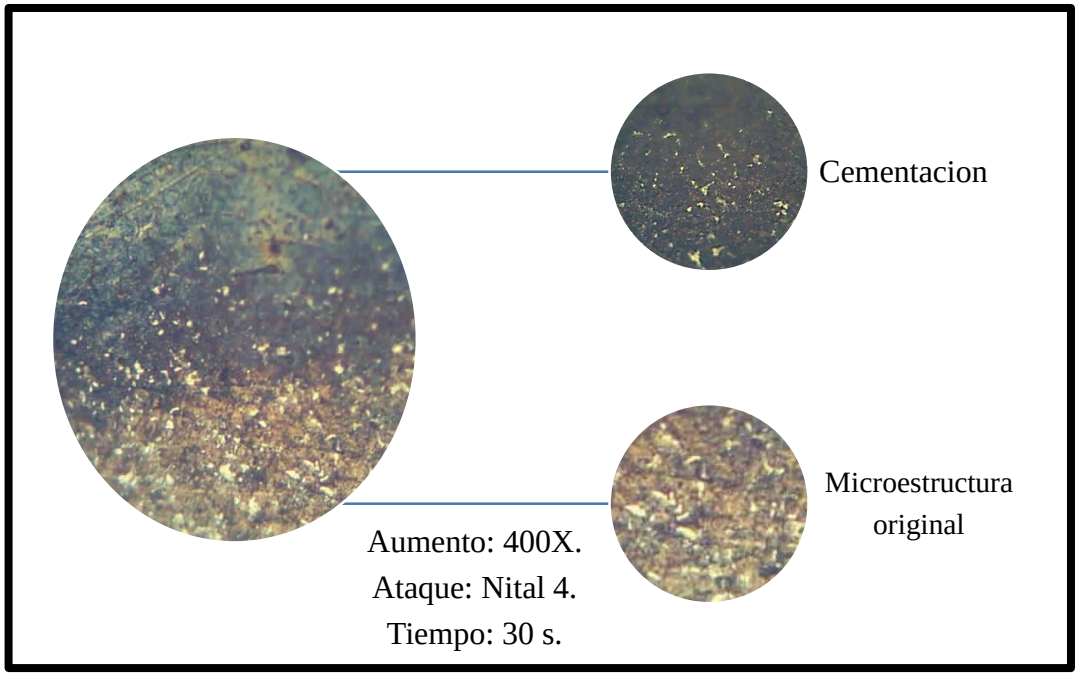



Figura 4.5 Microestructura

Fuente (autores, 2016)

En la zona de cementación se determinó que el tratamiento térmico produce austenita y martensita en la superficie de carbonización del acero; la martensita tiene altos contenidos de carbono tomando diferentes direcciones oscuras y la austenita tiene una forma característica de láminas alargadas en los cristales, tomando una apariencia blanquecina y se la conoce como austenita retenida, misma que influye en los aceros cementados ya que puede producir rotura por fatiga. Los tamaños de las láminas de la martensita están determinadas de acuerdo al tamaño de grano de la austenita, esta se puede refinar controlando la temperatura de enfriamiento, conforme decrece la temperatura este tamaño de grano es más fino y de igual manera el conjunto de placas de la martensita se vuelve más fina. En la figura 4.6 se indica la martensita y austenita presente en la probeta.

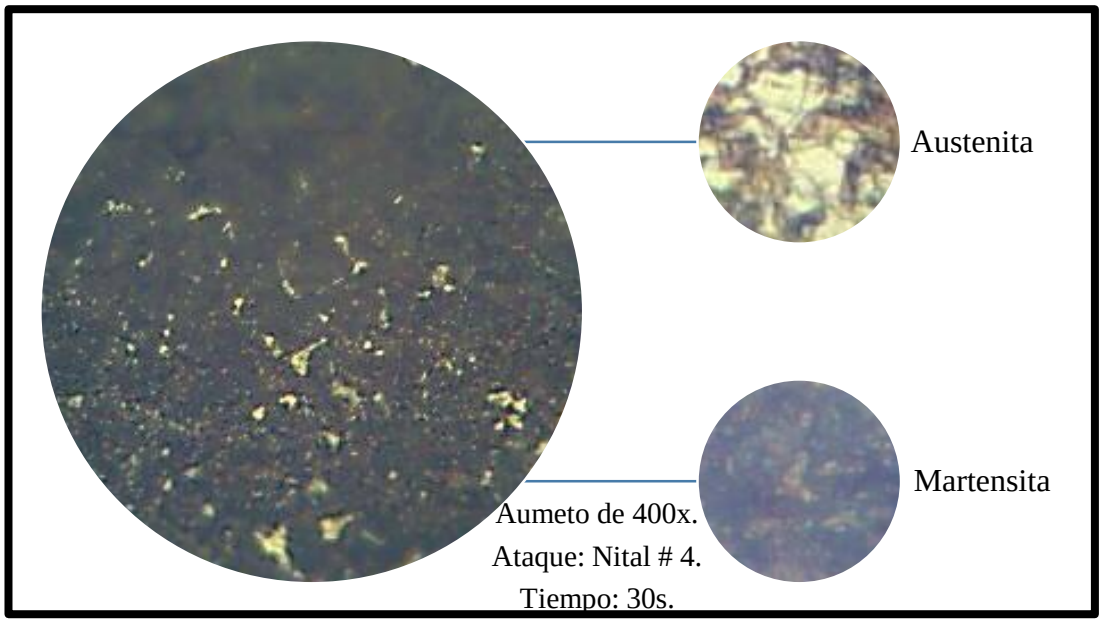



Fig. 4.6 Zona Cementada

Fuente (autores, 2016)

Según (Company T. M.) “En un acero martensitico cuya microestructura está formada por el recalentamiento y enfriamiento rápido de un acero AISI 8620 que es un acero de cementación, las partículas esféricas pequeñas blancas de austenita, son retenidas durante la austenizacion y temple, la estructura de la matriz grabada de oscuro, consta de martensita y austenita retenida demasiado fina. La dureza y la fuerza de la martensita incrementa al aumentar el contenido de carbono; por lo tanto, la mayor dureza de un acero endurecido está cerca de la superficie con grandes cantidades de austenita retenida que es mucho más suave que la martensita, mismas que compensan la elevada dureza de la martensita.”

La microestructura original presenta:

- Perlita: con altos contenidos de carbono que se componen de capas alternadas de ferrita y cementita, con una forma característica muy parecida a las perlas.
- Ferrita: con bajo contenido de carbono se visualiza como grano de cristales de color blanco y formando láminas separadas por otras láminas. Como se observa en la fig. 4.7.

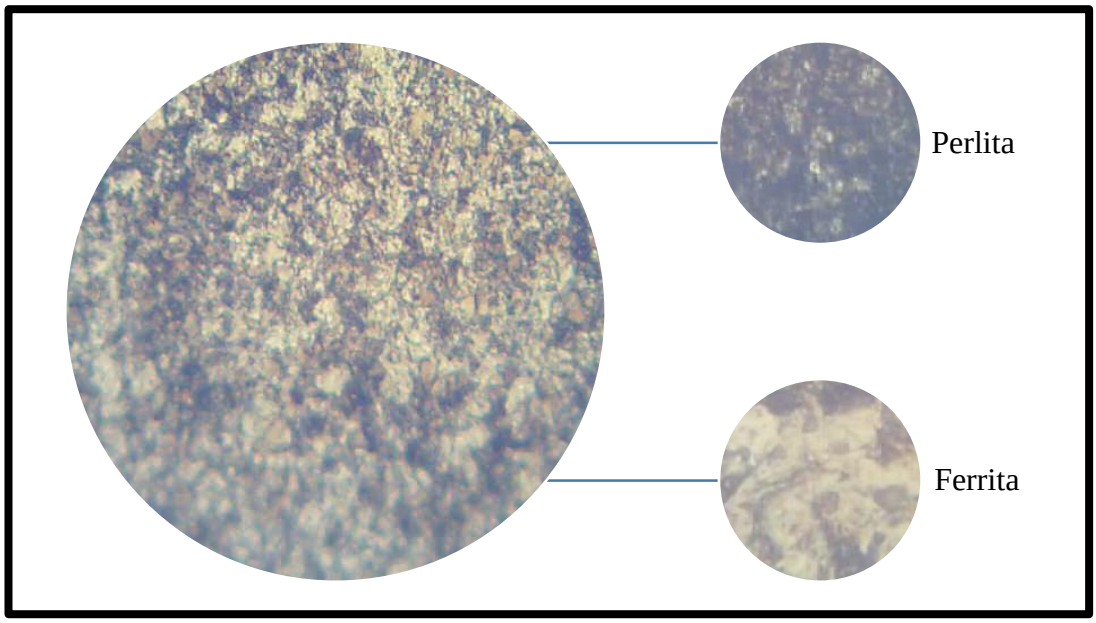



Fig. 4.7 Zona de microestructura original

Fuente (autores, 2016)

**4.3 Prueba dinamométrica.-** Se utilizó el banco dinamométrico de la Universidad del Azuay con el cual se realizó diez pruebas por cada caja.

**4.3.2 Norma SAE J 1349.-** Se utiliza para corregir los valores obtenidos por el banco dinamométrico.

**4.3.2.1 Alcance.-** Sirve para proporcionar un método para obtener mediciones repetibles que demuestran con exactitud el verdadero rendimiento del motor y obtener un típico comportamiento.

**4.3.2.2 Factores que utiliza la norma.-** La norma analiza principalmente los factores de corrección como:

- Condiciones Atmosféricas
- Especificaciones de Combustible
- Factores de corrección de potencia.

Estos factores se utilizan para los vehículos cuyo encendido es por chispa.

**4.3.2.3 Ecuaciones para la corrección de motores encendidos por chispa.-**

$$B_{Pc} = I_{Pc} - F_{Po} \tag{4.1}$$

Donde:

$$I_{Pc} = CA \times (B_{Po} + F_{Po}) \tag{4.2}$$

Siendo:

$$CA = \frac{99}{Pa_{do}} \times \sqrt{\frac{t_o + 273}{298}} \tag{4.3}$$

$$B_{Pc} = (1.176 \times CA - 0.176) \times B_{Po} \tag{4.4}$$

$$F_{Po} = 0.176 \times B_{Po} \tag{4.5}$$

Por lo que:

$$B_{Pc} = \frac{99}{Pa_{do}} \times \sqrt{\frac{t_o + 273}{298}} \times (1.176B_{Po}) - 0.176B_{Po} \tag{4.6}$$

Donde:

$B_{Po}$= Potencia de Frenado

$B_{Pc}$ = Potencia de frenado

$F_{Po}$ = Flujo de combustible

$Pa$ = Presión Atmosférica

$t_o$ =Temperatura

$CA$ =Factor Atmosférico.

**4.3.5 Potencia.-** Se obtiene mediante la curva generada por el programa del banco dinamométrico con los siguientes parámetros:

- **Procedimiento para la medición.-** Inicialmente ubicamos el vehículo sobre los rodillos del banco dinamométrico y mediante las cintas tensoras, sujetamos al vehículo a los enclavamientos correspondientes, comprobando que tengan la suficiente tensión. Se procede a revisar la presión de los neumáticos y a medir el diámetro siendo de 48.5 cm, se ingresa este valor en el programa; así como, el peso del vehículo de 750 kg según el catálogo. La prueba comienza liberando los rodillos y se procede al ingreso de la información en el tablero del banco dinamométrico con una carga del 2 % y comenzando con una velocidad de 60 Km/h hasta llegar los 120 Km/h. Al arrancar el vehículo se hace de una forma lenta y se realiza los cambios hasta llegar a cuarta marcha con una velocidad de 50 km/h; después se pisa el pedal del acelerador a fondo, el momento que llega a 60 Km/h se inicia el registro de datos en el programa hasta llegar a su velocidad máxima. Los resultados obtenidos se indican en los anexos 19 y 20. En la tabla 4.2 se indica los resultados de las pruebas realizadas tanto en la caja de engranes rectos como la de engranes helicoidales.

Tabla 4.2 Potencia obtenida en el banco dinamométrico (UDA)

| # Medición | Caja de engranes rectos (KW) | Caja de engranes helicoidales (KW) |
|---|---|---|
| **1** | 19.2 | 19.6 |
| **2** | 19.5 | 19.3 |
| **3** | 20.4 | 19.3 |
| **4** | 21.2 | 19.1 |
| **5** | 21.0 | 19.3 |
| **6** | 23.4 | 18 |
| **7** | 21.2 | 20.5 |
| **8** | 22.9 | 19.6 |
| **9** | 22.5 | 18.8 |
| **10** | 23.9 | 19.6 |
| Promedio | **21.52** | **19.3** |

Fuente (autores, 2016)

Al determinar un promedio de las mediciones, la caja de engranes rectos supero con 2.22 KW de potencia a la caja original, mejorando su rendimiento en un valor de 10.31%. Al generar las curvas de potencia que se observan en la fig. 4.8 se aprecia un aumento del 19% de la velocidad angular equivalente a una ganancia de 1030 revoluciones por minuto entre sus puntos más altos.

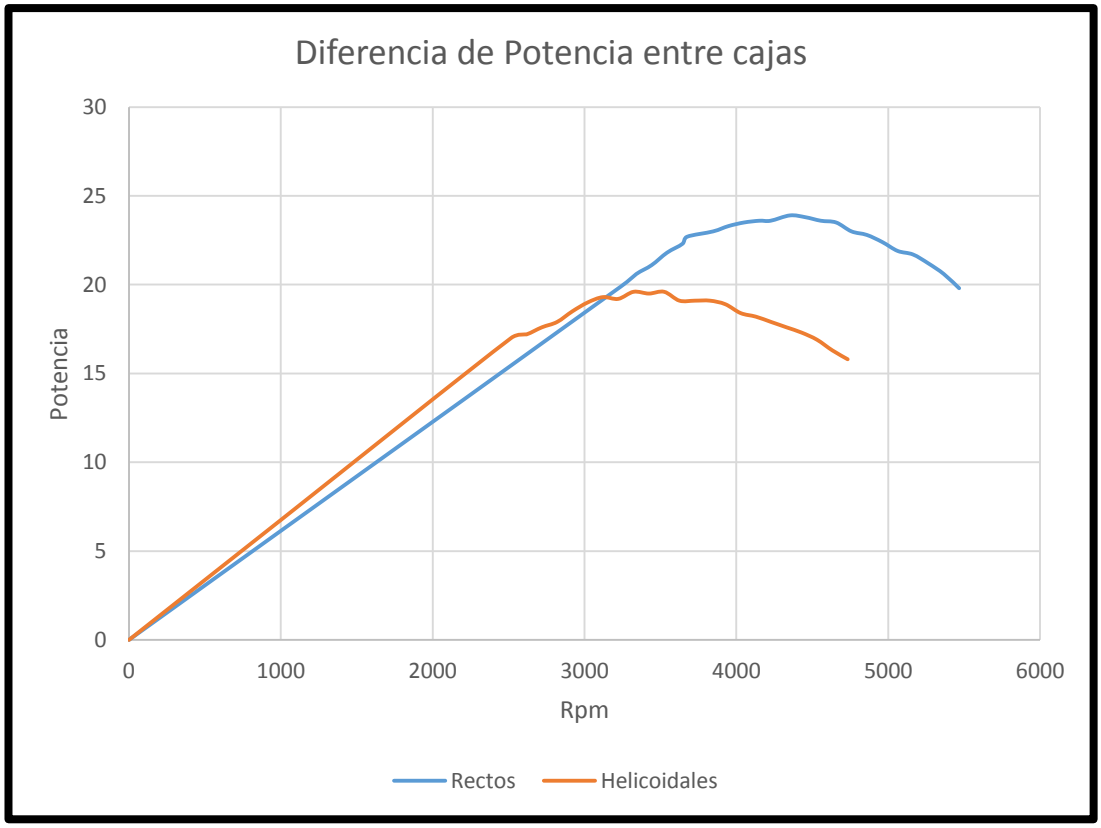



Fig. 4.8 Diferencia de potencia entre la caja de engranes rectos y helicoidal

Fuente (autores, 2016)

Al obtener un promedio de los valores de las pruebas del banco dinamométrico a estos se aplica un factor de corrección mediante la norma SAE J 1349 utilizando las ecuación (4.6) y siendo los valores de: $B_{Po}$= 1, $Pa$ = 68.51 Kpa y $t_o$ =14 C

Se obtiene un valor de corrección de 1.49 siendo la potencia de los engranes helicoidales de 28.8 KW y de los engranes rectos de 32.10 KW, resultando un aumento de la potencia en un 10.31%.

**4.3.6 Análisis de velocidad y tiempo.-** La finalidad de la modificación de los elementos de transmisión de la caja de cambios es la de conseguir una mayor velocidad en un menor tiempo de recorrido; comparando los resultados generados por el banco dinamométrico para cada caja. En la tabla 4.3 se indica la máxima velocidad que se alcanzó en las dos cajas con su respectivo tiempo iniciando desde 60 km/h hasta los 120 km/h; en el caso de los engranes rectos superó la velocidad máxima establecida en el banco dinamométrico (120 km/h) y caso contrario en los engranes helicoidales.

Tabla 4.3 Velocidad y tiempo

| # Prueba | Caja de engranes rectos | | Caja de engranes helicoidales | |
|---|---|---|---|---|
| | Velocidad máx. (km/h) | Tiempo (s) | Velocidad máx. (km/h) | Tiempo (s) |
| **1** | 126 | 25.9 | 113 | 39.5 |
| **2** | 126 | 27 | 112 | 38.4 |
| **3** | 130 | 28.3 | 112 | 38.6 |
| **4** | 135 | 34.8 | 108 | 39.3 |
| **5** | 126 | 23.5 | 112 | 38.9 |
| **6** | 124 | 18.5 | 97 | 24.1 |
| **7** | 125 | 23.3 | 108 | 39.3 |
| **8** | 132 | 25.0 | 113 | 39.5 |
| **9** | 130 | 24.8 | 99 | 29.8 |
| **10** | 128 | 21.2 | 113 | 39.5 |
| **Promedio** | 128.2 | 25.3 | 97.4 | 36.69 |

Fuente (autores, 2016)

El aumento de velocidad es de 30.8 km/h, con una disminución de tiempo de 11.39 segundos; logrando incrementar la velocidad en 24.02%. Los resultados de las pruebas se indican en los anexos 19 y 20.

## 4.4 Prueba SAEJ 1491

**4.4.1 Lineamientos.-** La norma posee varias característica como son las indicadas en el anexo 21, entre las más importantes están:

**4.4.2 Alcance.-** Definir un procedimiento de la prueba que proporciona una medida de la respuesta de la aceleración máxima.

**4.4.3 Propósito.-** Proporcionar un medio estandarizado para medir la respuesta de aceleración máxima.

**4.4.4 Tiempo de respuesta de aceleración.-** Se mide en segundos (s) desde el inicio del movimiento del vehículo; la prueba es utilizada para medir la velocidad y/o la distancia, se realiza en un cuarto de milla o cuatrocientos metros.

**4.4.5 Velocidad.-** Utiliza la unidad en milla por hora (mph), Km/h y m/s según especificaciones del Sistema Internacional.

**4.4.6 Medición.-** Se usa el anexo 21 en el literal 4.

**4.4.7 Condiciones para la prueba.-** Para el desarrollo de la prueba, se requiere:

- Temperatura del ambiente debe estar entre -1 y 32 ºC,
- Humedad debe ser menor del 95%,
- No se realiza la prueba cuando la velocidad del viento es mayor a 15 mph o 24 km/h.
- La gradiente no debe superar los 0.5%.

**4.4.8 Prueba.-** Se realizó en la autopista Cuenca-Azogues en el kilómetro 16, siguiendo las condiciones indicadas en la norma SAEJ 1491, con un GPS como instrumento de medición marca Vbox sport que se indica en la figura 4.9; el cual genera datos como: distancia recorrida, velocidad instantánea, incremento de tiempo con un relación de veinte partes por segundo y un error de 1 cm en la distancia.

Fig. 4.9 GPS Vbox

Fuente (autores, 2016)

**4.4.9 Velocidad y tiempo.-** La norma SAEJ 1491 indica que se debe realizar un mínimo de tres pruebas, esta se realizó diez veces por caja, las condiciones para realizarla se encuentran en el literal 8.1 del anexo 21, que indica que la velocidad inicial para arrancar la prueba inicia en 64 km/h y finaliza en los 97 km/h. Se establece que la caja de engranes rectos alcanza dicho rango de velocidad en un tiempo de 12.3 segundos; mientras que la caja de engranes helicoidales demora 15.2 segundos en alcanzar esta velocidad, lo que implica una mejora en el rendimiento del 19.07%; además las pruebas se visualizan en los anexos 22, 23 24 y 25.

**4.5 Análisis de velocidad y tiempo obtenidos.-** Se determinó la velocidad máxima alcanzada en ¼ milla, los resultados se indican en la tabla 4.4. El incremento de velocidad es de 16.7 km/h con una disminución de tiempo de 4.44 segundos. La figura 4.10 indica la comparación de los rendimientos de las velocidades de las cajas, siendo la curva de la caja de engranes rectos más eficiente en menor tiempo demostrando así alcanzar la velocidad de 95.33 km/h en 20.7 segundos y la caja de engranes helicoidales obtuvo una velocidad de 75.69 Km/h en el mismo tiempo.

Tabla 4.4 Velocidad máxima alcanzada

| # Prueba | Caja de engranes Rectos | | Caja de engranes helicoidales | |
|---|---|---|---|---|
| | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) |
| **1** | 103.97 | 21.1 | 87.21 | 24.25 |
| **2** | 95.53 | 22.35 | 88.3 | 26.2 |
| **3** | 100.66 | 22.85 | 78.64 | 29.05 |
| **4** | 94.66 | 22.6 | 79.51 | 26.35 |
| **5** | 93.07 | 22.95 | 79.53 | 25.9 |
| **6** | 102.2 | 21.1 | 78.83 | 27 |
| **7** | 95.03 | 22.4 | 80.4 | 27.05 |
| **8** | 103.97 | 20.7 | 82.41 | 26.4 |
| **9** | 95.53 | 22.2 | 76.88 | 27.15 |
| **10** | 94.66 | 22.65 | 80.60 | 25.9 |
| **Promedio** | 97.93 | 22.09 | 81.23 | 26.53 |

Fuente (autores, 2016)

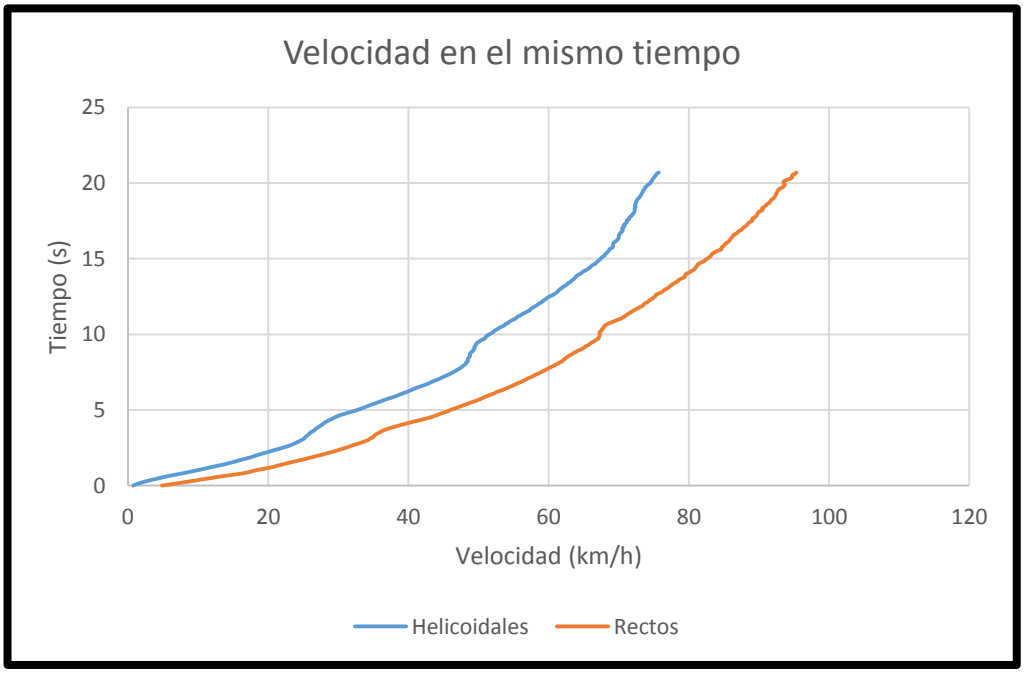



Fig. 4.10 Velocidad en el mismo tiempo

Fuente (autores, 2016)

Cada marcha posee un incremento de velocidad, en la tabla 4.5 se establece la máxima velocidad para primera marcha, y se observa en la figura 4.11.

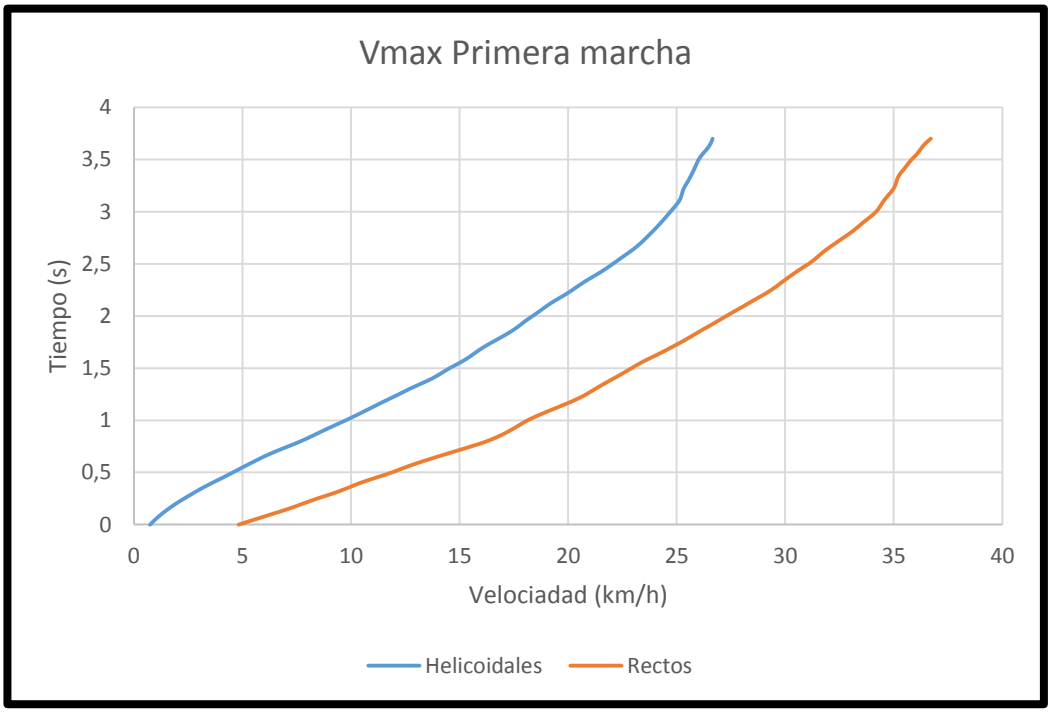



Fig. 4.11 Vel. máx. Primera marcha

Fuente (autores, 2016)

Tabla 4.5 Primera marcha

| # Prueba | Caja de engranes Rectos | | Caja de engranes helicoidales | |
|---|---|---|---|---|
| | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) |
| **1** | 35.44 | 3.3 | 33.25 | 4 |
| **2** | 35.78 | 3.7 | 27.07 | 3.4 |
| **3** | 35.15 | 4.45 | 23.75 | 6.2 |
| **4** | 35.48 | 3.55 | 28.89 | 3.7 |
| **5** | 37.64 | 3.9 | 34.4 | 5.55 |
| **6** | 35.47 | 3.3 | 26.31 | 4.35 |
| **7** | 34.81 | 3.3 | 24.94 | 2.95 |
| **8** | 35.44 | 2.9 | 24.15 | 4.05 |
| **9** | 36.12 | 3.9 | 26.67 | 3.85 |
| **10** | 35.25 | 3.5 | 26.95 | 3.9 |
| **Promedio** | 35.66 | 3.58 | 27.64 | 4.2 |

Fuente (autores, 2016)

El incremento de velocidad es de 8.02 Km/h en 0.62 segundos; mientras que en segunda velocidad se estableció la información que se indica en la tabla 4.6 como se observa en la fig. 4.12.

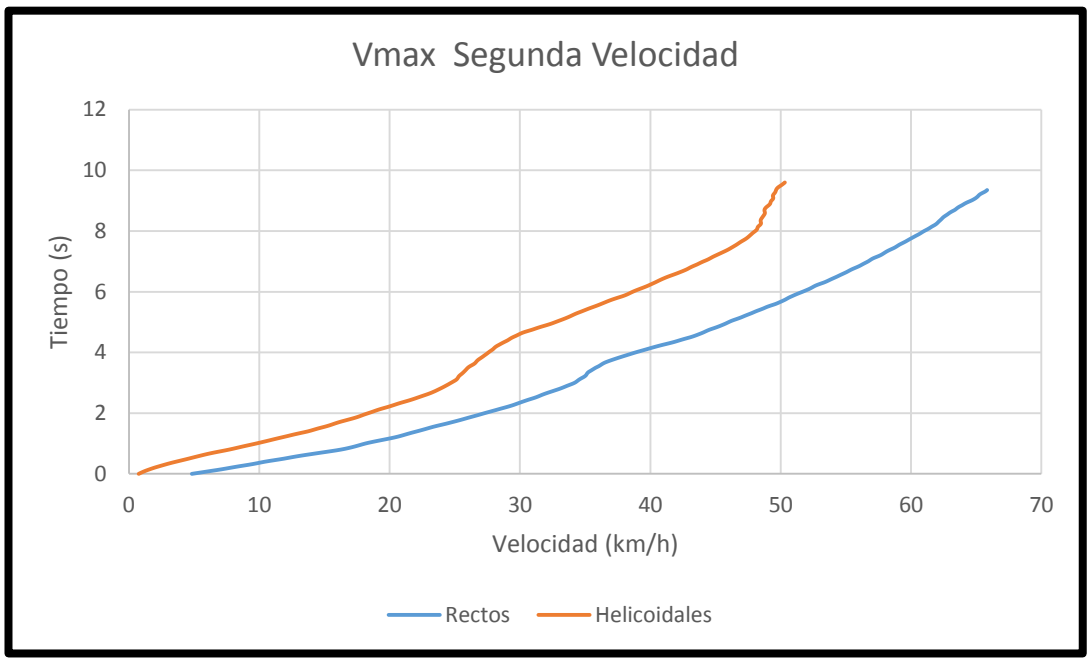



Fig. 4.12 Vel .máx. Segunda Velocidad

Fuente (autores, 2016)

Tabla 4.6 Segunda marcha

| # Prueba | Caja de engranes Rectos | | Caja de engranes helicoidales | |
|---|---|---|---|---|
| | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) | Velocidad (Km/h) | Tiempo (s) |
| **1** | 66.28 | 9.15 | 47.76 | 8.8 |
| **2** | 67.84 | 10.85 | 49.58 | 8.2 |
| **3** | 64.57 | 10.25 | 50.63 | 11.65 |
| **4** | 65.35 | 9.7 | 52.72 | 9 |
| **5** | 65.27 | 11.05 | 57.39 | 11.6 |
| **6** | 64.19 | 8 | 44.35 | 9.05 |
| **7** | 65.73 | 9.7 | 45.19 | 7.65 |
| **8** | 65.94 | 8.05 | 47.99 | 8.04 |
| **9** | 67.61 | 10.45 | 48.16 | 7.95 |
| **10** | 65.35 | 9.75 | 49.78 | 9.4 |
| **Promedio** | 65.81 | 9.7 | 50.36 | 9.13 |

Fuente (autores, 2016)

El incremento de velocidad es de 15.46 Km/h en 0.56 segundos en tercera velocidad se obtuvo la tabla 4.7. Como se observa en la fig. 4.13.

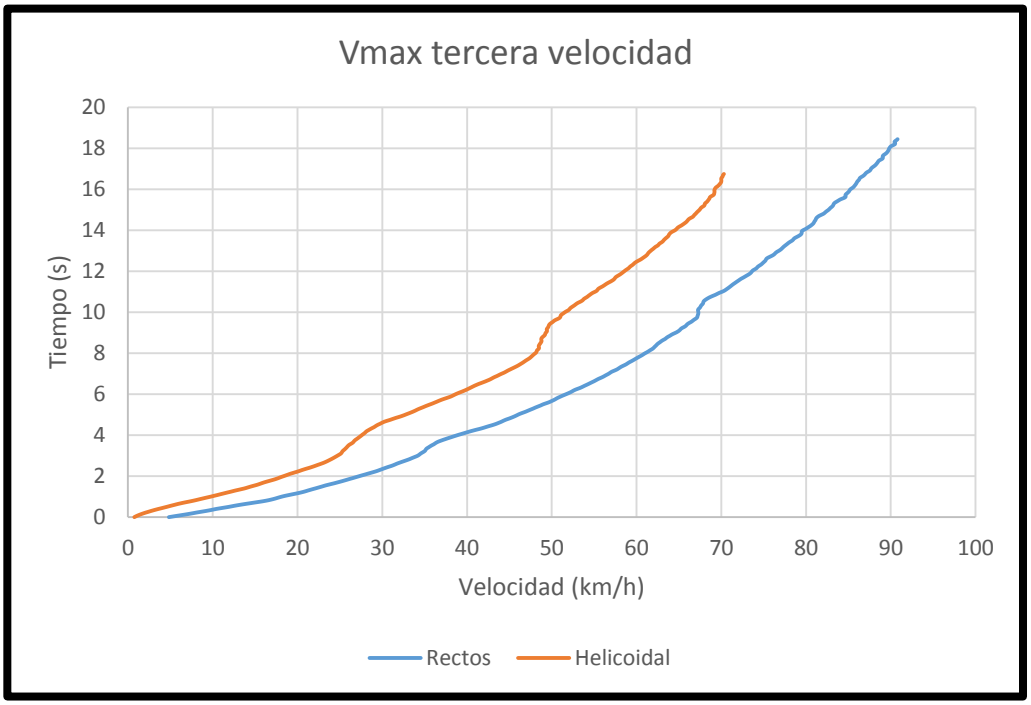



Fig. 4.13 Vel. máx tercera velocidad

Fuente (autores, 2016)

Tabla 4.7 Tercera marcha

| # Prueba | Caja de engranes Rectos | | Caja de engranes helicoidales | |
|---|---|---|---|---|
| | Velocidad (km/h) | Tiempo (s) | Velocidad (km/h) | Tiempo (s) |
| **1** | 93.19 | 16.6 | 81.15 | 19.05 |
| **2** | 84.56 | 16 | 72.57 | 17.95 |
| **3** | 95.24 | 20.5 | 66.44 | 18.85 |
| **4** | 89.22 | 19.1 | 73.86 | 20.35 |
| **5** | 89.22 | 20.2 | 72.52 | 18.1 |
| **6** | 96.05 | 18.65 | 68.56 | 19.3 |
| **7** | 94.82 | 21.75 | 68.13 | 18.2 |
| **8** | 93.43 | 16.35 | 70.62 | 18.05 |
| **9** | 84.46 | 16.3 | 67.84 | 20.65 |
| **10** | 88.29 | 19.45 | 71.01 | 19.8 |
| **Promedio** | 90.85 | 18.49 | 71.27 | 19.03 |

Fuente (autores, 2016)

El incremento de velocidad es de 19.58 km/h en 0.54 segundos.

Al realizar las pruebas en la autopista Cuenca-Azogues la velocidad máxima permitida es de 100km/h; por lo que, en la última marcha se contempló hasta esta velocidad y se levantó la siguiente información indicada en la fig. 4.14

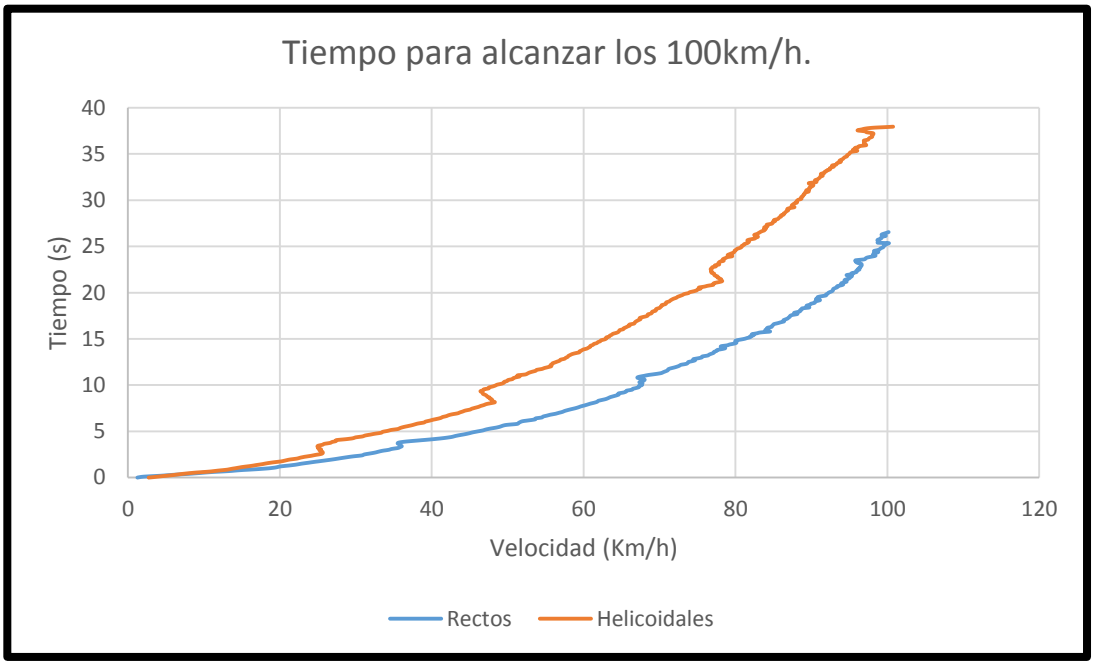



Fig. 4.14 Tiempo para alcanzar los 100 km/h.

Fuente (autores, 2016)

En cuarta velocidad la caja de engranes rectos llega a los 100 km/h en un tiempo de 26.55 segundos en una distancia de 486.65 metros mientras la de engranes helicoidales llega a 100 km/h en un tiempo de 37.95 segundos en una distancia de 695.13 metros.

**4.6 Prueba de aceite.-** Se realizó en la empresa SWISSOIL de la ciudad de Guayaquil; la cual lo hace mediante el Sistema de Análisis de Muestras (SAM), que reporta resultados de distintos análisis tales como: viscosidad, presencia de agua, apariencia, presencia de partículas de metales de desgaste de los distintos elementos, etc.

Se envió la muestra de aceite que se obtuvo durante la realización de las pruebas de la caja modificada de engranes rectos como se observa en la figura 4.15.

Fig. 4.15 Muestras de aceite en las que se realizaron las pruebas.
Fuente (autores, 2016)

La empresa usa diferentes escalas de referencia, de acuerdo a las normas con las cuales opera cada equipo de análisis.

**Requerimientos.-** Tiene requerimientos específicos que validan la integridad de la prueba; los cuales generan una confiabilidad de los resultados, éstas son:

- Tomar las muestras en máquinas en operación.- Se debe tomar las muestras en sistemas que se encuentren en condiciones normales de operación o bajo condiciones de carga, nunca se las tomará en sistemas fríos ni en los cuales sean arrancados solamente para tomar la muestra; ya que la prueba se basa en realizar una fotografía del aceite en la maquinaria en la que se realiza el muestreo
- Realizar la toma de las muestras antes de los filtros y después de los componentes de la maquina.- La función principal de un filtro en un sistema hidráulico es la de retener la impurezas que se generan por el rozamiento en dichos sistemas; por esta razón, al tomar una muestra de aceite antes de que éste pase por el filtro, se garantiza que el conteo de agentes ajenos al sistema sea el correcto y verdadero; además con el fin de garantizar el correcto

funcionamiento del filtro, lo ideal es realizar una toma de muestras antes y después de éste, para con una comparación de un conteo de partículas, establecer si está cumpliendo con su misión

- Realizar procedimientos descritos de toma de muestras específica para cada sistema.- Es importante seguir los procedimientos para la extracción de muestras de aceite, contando con un protocolo específico para cada elemento de la máquina con el fin de no alterar los resultados
- Realizar la purga de las válvulas y dispositivo de muestreo antes de la toma de muestras.- Esta operación se la debe realizar con el equipo adecuado; así como, con las herramientas completamente limpias, debido a que se puede dar un cruce de contaminación y por lo tanto alterar los resultados obtenidos para cada elemento
- Tomar las muestras con una continuidad correcta.- Es importante establecer un tiempo adecuado para realizar una prueba de aceite; la cual nos puede indicar con antelación, el excesivo desgaste de un elemento, evitando daños prematuros
- Enviar la muestra inmediatamente después del muestreo.- Es primordial enviar al laboratorio la muestra tomada en un rango no mayor a 24 horas; esto debido a que la prueba consiste en tomar una fotografía del aceite y al exceder este tiempo, puede darse el asentamiento de los componentes y una variación en el resultado de esta prueba.

**4.6.1** **Informe**.- De acuerdo a las muestras enviadas, se recibió el informe por parte de la empresa Swissoil, que se puede observar en la figura 4.16, en el cual se especifica que en la caja de cambios de engranes rectos, existe mayor presencia de metal ferroso, en un rango de 120 partes por millón, mismo que se encuentra dentro de los rangos normales de funcionamiento; ya que, según la empresa Swissoil para que un aceite no sirva para prestar lubricación a un elemento o a una máquina, este rango debe de estar por encima de las 2000 partes por millón; de igual manera se especifica que la presencia de metales pesados en el aceite como son: el níquel, cromo, estaño y aluminio; tienen una presencia muy baja y no afectan el funcionamiento normal del aceite en la caja de velocidades.

Se describe también en los resultados, que no existe presencia alguna de agua o humedad en el aceite y que el mismo tiene una viscosidad de 11.49 centistocks, a 100 º C, temperatura a la cual se realiza esta prueba, rangos que de igual manera se encuentran dentro de los rangos normales para su funcionamiento.

swissoil

REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

| | |
|---|---|
| LABORATORIO NUMERO | 1511 |
| NOMBRE DEL LUBRICANTE: | TEXACO MGL 75-85 |
| NOMBRE DEL CLIENTE | SERGIO TIRADO |
| REQUERIDO POR: | CONAUTO CUENCA |
| REFERENCIA | *037/16* |
| NUMERO DE MUESTRA: | 1 |
| FECHA DE OBTENCIÓN: | 18/04/2016 |
| FECHA DE RECEPCIÓN: | 27/04/2016 |
| FECHA DE ENTREGA: | 28/04/2016 |
| PROCEDENCIA: | CAJA DE CAMBIOS |
| TIEMPO DE SERVICIO: KM | 1.000 |
| HORÓMETRO TOTAL: KM | 1.000 |
| APARIENCIA | VERDOSO |
| AGUA POR CREPITACIÓN | NEGATIVO |
| VISCOSIDAD A 100°C CST,ASTM 445 | 11.49 |
| TBN , ASTM D-2896 | - |
| **METALES DE DESGASTE, ASTM D-6595** | |
| METAL DE DESGASTE CROMO, Cr, ppm | 0 |
| METAL DE DESGASTE NIQUEL, Ni, ppm | 0 |
| METAL DE DESGASTE COBRE, Cu, ppm | 5 |
| METAL DE DESGASTE ESTAÑO, Sn, ppm | 4 |
| METAL DE DESGASTE ALUMINO, Al, ppm | 14 |
| METAL DE DESGASTE PLOMO, Pb, ppm | 0 |
| METAL DE DESGASTE HIERRO, Fe, ppm | 120 |
| ELEMENTO SILICIO, Si, ppm | 52 |

**COMENTARIOS**

| | | |
|---|---|---|
| ✓ OK | 1511 | Los resultados obtenidos en la muestra de la referencia son satisfactorios. Sugerimos seguir las instrucciones del fabricante del equipo respecto a los intervalos de cambio. El aceite si está apto para continuar en servicio. |

**Atentamente**

**ING. ONELA ALBÁN TORRES**
**AYUDANTE DEL CENTRO DE TECNOLOGÍA**

Fig. 4.16 Muestras de aceite a las que se realizaron las pruebas.
Fuente (Swissoil, 2016)

Por tal razón la empresa Swissoil define: que los resultados obtenidos en estas muestras de referencia son satisfactorias; por lo que, llega a la conclusión que el aceite se encuentra apto para seguir en funcionamiento y recomienda dar mantenimiento de acuerdo a los instructivos del fabricante.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## Conclusiones:

- Mediante la información teórica obtenida de los factores que influyen en el rendimiento y funcionamiento de la caja de cambios se determinaron que las relaciones de transmisión de la caja original están diseñadas para realizar un trabajo de carga, desperdiciando potencia entregada por el motor; a partir de este punto, se pueden cambiar las distintas variables en cada marcha tales como: diámetros, módulos, números de dientes pero manteniendo constante la distancia entre ejes; mismos que servirán como inicio del diseño de la nueva relación de transmisión.

- A partir del análisis teórico de la nueva relación de transmisión, se analizaron las curvas que generan la nueva geometría de la caja de cambios, logrando establecer una progresiva; la cual, permitirá incrementar la velocidad y reducir las pérdidas de velocidad angular durante el cambio de cada marcha, optimizando de esta manera la potencia entregada por el motor, posterior a esto se determinó el cambio crítico en el cual se realizó un análisis de esfuerzos por medio de la teoría de Goodman Modificado, estableciendo un factor de seguridad para su funcionamiento de 1.21 a flexión y 1.43 a picadura.

- Los elementos de transmisión se construyeron en un acero AISI 8620; ya que, presenta las condiciones ideales para la maquinabilidad y tratamiento térmico de los elementos a ser construidos; para su elección se tomaron en cuenta factores de diseño tales como: resistencia a la tensión, resistencia a la fluencia, resistencia a la fatiga; los cuales son las más relevantes para la realización; así como, para lograr el factor de seguridad propuesto en el diseño, también se determinó que el tratamiento térmico logró una profundidad de 0.7mm y su dureza alcanzó los 53 HRC en la parte externa; cumpliendo con las expectativas deseadas para su construcción.

- Las pruebas realizadas en el banco dinamométrico mediante la norma SAEJ 1349 demostraron un incremento en la potencia en un 10.31% que equivale a

3.3 KW, la velocidad en 17.33 km/h y una reducción en el tiempo de funcionamiento de 4.44 segundos; indicando de esta manera que los engranes rectos tienen un mayor rendimiento.

- Al realizar la modificación de los elementos de transmisión de la caja de cambios, se obtuvo mayor velocidad en menor tiempo de recorrido; la cual, se comprobó mediante la norma SAEJ 1491 que indica que la velocidad para la prueba inicia en 64 km/h hasta los 97km/h; el tiempo de duración de esta prueba con engranes rectos es de 12.3 segundos mientras que en la caja de engranes helicoidales es de 15.2 segundos, obteniendo una mejora en el tiempo de 2.9 segundos.

- La prueba de aceite realizada demostró que el desgaste de los elementos de transmisión construidos, están dentro de los rangos normales de funcionamiento; según los parámetros de análisis de muestras que maneja la empresa Swissoil, para que un aceite no se encuentre apto para continuar en servicio, las partes por millón de material ferroso deben superar las 2000 ppm; siendo que la muestra analizada contiene 120 ppm, se establece que la lubricación se realiza en forma correcta y que puede continuar en funcionamiento.

## Recomendaciones

Al concluir este proyecto se determinó que el campo de investigación es muy extenso y se puede realizar trabajos que logren mejorar el funcionamiento del sistema, por tal razón se sugiere lo siguiente:

- Realizar un estudio experimental que disminuya los ruidos provenientes de la caja de cambios por medio de la utilización de aceites de diferentes viscosidades mismos que perturban al momento de la conducción.

- Obtener un ciclo de conducción práctico a partir de la caja de engranes rectos que permita establecer tiempos de operación de modo que éstos faciliten nuevos trabajos investigativos; en los cuales, se optimice de mejor manera la potencia del motor; evaluando el consumo de combustible y emisiones.

- Realizar un estudio para utilizar otros aceros y materiales los cuales pueden adaptarse al diseño, precautelando la durabilidad y los esfuerzos que se producen.

- A partir de este estudio se puede realizar nuevos análisis para mejorar los elementos de la cadena de transmisión aún no modificados.

## BIBLIOGRAFIA

Acosta Esqueda , M., Martinez Madrid, M., & Lopez, J. (2000). *imt.mx*. Obtenido de http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt148.pdf

AISI AGMA 2101, C. (s.f.). *ERRATA JANUARY 1996.* Obtenido de http://wp.kntu.ac.ir/asgari/AGMA%202101-C95.pdf

autores, L. (2016).

Barahona , J. (2015). *repositorio.uide.edu.ec.* Obtenido de http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/731/1/T-UIDE-0667.pdf

Basso, D. F. (10 de octubre de 2007). *mantenimientomundial.* Recuperado el 08 de diciembre de 2015, de http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Caja.pdf

BOHLER, A. (s.f.). *ACEROS BOHLER.* Obtenido de http://www.acerosbohler.com/spanish

Bohman, I. (s.f.). *7210=AISI 8620.*

Budynas, G. R. (2008). Diseño en Ingeniería mecanica de Shingley. En G. R. Budynas, *Diseño en Ingeniería mecanica de Shingley.* Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

CODESIS. (s.f.). *Tecnico en Mecanica y Electronica Automotriz.* Santafe Bogota: CODESIS LTDA.

Company, T. M. (s.f.). ASM Handbook. ASM International.

Cordero Moreno, D. G. (26 de Enero de 2016). *http://www3.epa.gov/nvfel/methods/uddsdds.gif*.

Cypra, A., Beer, A., & Bauer, H. (1995). *Manual de la tecnica del Automovil.* Barcelona: REVERTÈ S.A .

ECUATORIANA, A. E. (7 de 09 de 2012). *Estacion Climatologica de Cuenca*. Obtenido de cue.exa.ec

*Educa Madrid Mediateca*. (28 de febrero de 2008). Obtenido de http://mediateca.educa.madrid.org/imagen/w1cmts7nfldsejus

Faires, V. M. (s.f.). *Diseño de elementos de Maquinas.*

*iesmontilivi.net*. (s.f.). Obtenido de http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt148.pdf

JAPON, N. M. (1971). *SERVICE MANUAL.* TOKYO.

Jazar, R. N. (2008). *Vehicle Dynamics Theory and Application.* Riverdale, NY: Springer.

Másmela, G. (s.f.). *bdigital.unal.edu.co.* Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/151/9/62_-_8_Capi_7.pdf

MEDIAS.SCHAEFFLER. (s.f.). *MEDIAS.SCHAEFFLER*. Recuperado el 2016, de http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.ec.br.pr/33..-DA*3305-DA-TVP

Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en Ingenieria Mecanica de Shigley.* Mexico DF: McGraw Hill, Octava Edicion.

Norton, R. L. (2009). Diseño de Maquinaria, Sintesis y analisis de máquinas y mecanismos. En R. L. Norton, *Diseño de Maquinaria, Sintesis y analisis de máquinas y mecanismos.* Monterrey, Mexico: McGrawHill.

Nuñez, P. B. (27 de septiembre de 2014). Obtenido de https://i.ytimg.com/vi/udLv-MenFt4/hqdefault.jpg

*Proyectos Educacion Tecnologica*. (s.f.). Obtenido de http://proyectoseducaciontecnologica.weebly.com/investigacioacuten-sobre-engranajes.html

Robert, M. L. (2006). Diseño de elementos de Maquinas. En M. L. Robert, *Diseño de elementos de Maquinas* (pág. 307). Mexico: Pearson Education.

SCHAEFFLER. (s.f.). Obtenido de http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.ec.br.pr/33..-DA*3305-DA-TVP

SKF, C. (Mayo de 2006). *SKF*. Obtenido de https://app.box.com/s/e741ee52a755d5f37fad/1/255644030/2114832189/1

*Suministros Industriales Rifà*. (15 de Septiembre de 2015). Obtenido de http://si-rifa.com/blog/rodamientos-de-bolas-skf/

Swissoil, O. A. (2016). *Reporte de analisis de laboratorio.* Guayaquil: Swissoil.

vanegas, l. (s.f.). *utp.edu.co.* Obtenido de http://www.utp.edu.co/~lvanegas/disI/Cap5.pdf

*word press.* (noviembre de 2008). Obtenido de https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf

XVIGAS. (2015). *XVIGAS*. Obtenido de http://pwnage2apps.esy.es/xvigas/xvigas.html

(11 de 10 de 2015). Obtenido de wikimedia: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Helical_Gears.jpg

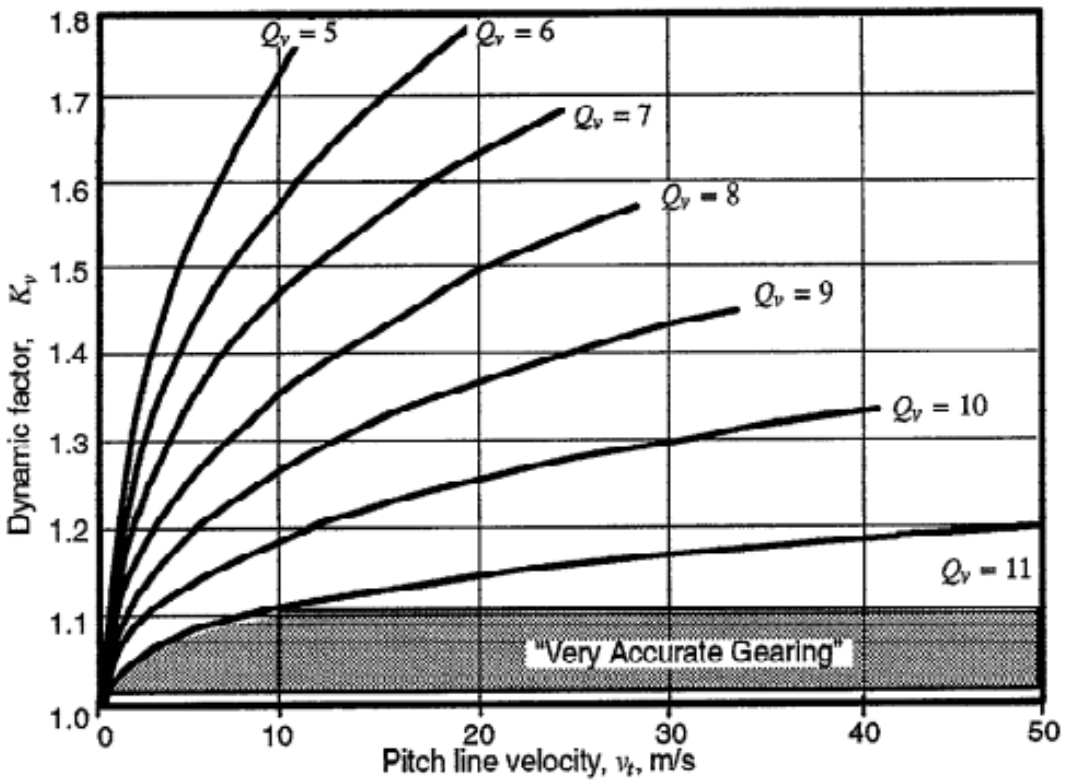
# ANEXOS

Anexo 1.- Coeficiente de resistencia a la rodadura

| Firme | | Coeficiente resistencia rodadura f |
|---|---|---|
| Turismo | Neumático sobre<br>adoquinado grande,<br>adoquinado pequeño<br>hormigón, asfalto<br>árido apisonados<br>Macadam. De alquitrán.<br>Camino de tierra<br>Suelo arado | <br>0.015<br>0.015<br>0.013<br>0.02<br>0.25<br>0.05<br>0.1…..0.35 |
| Vehículos ind. | Neumático sobre<br>hormigón, asfalto | 0.006….0.01<br>0.14….0.24 |
| Ruedas todo terreno<br>tractor oruga rueda | Sobre suelo arado<br>Sobre carriles | 0.07…0.12<br>0.001…0.002 |

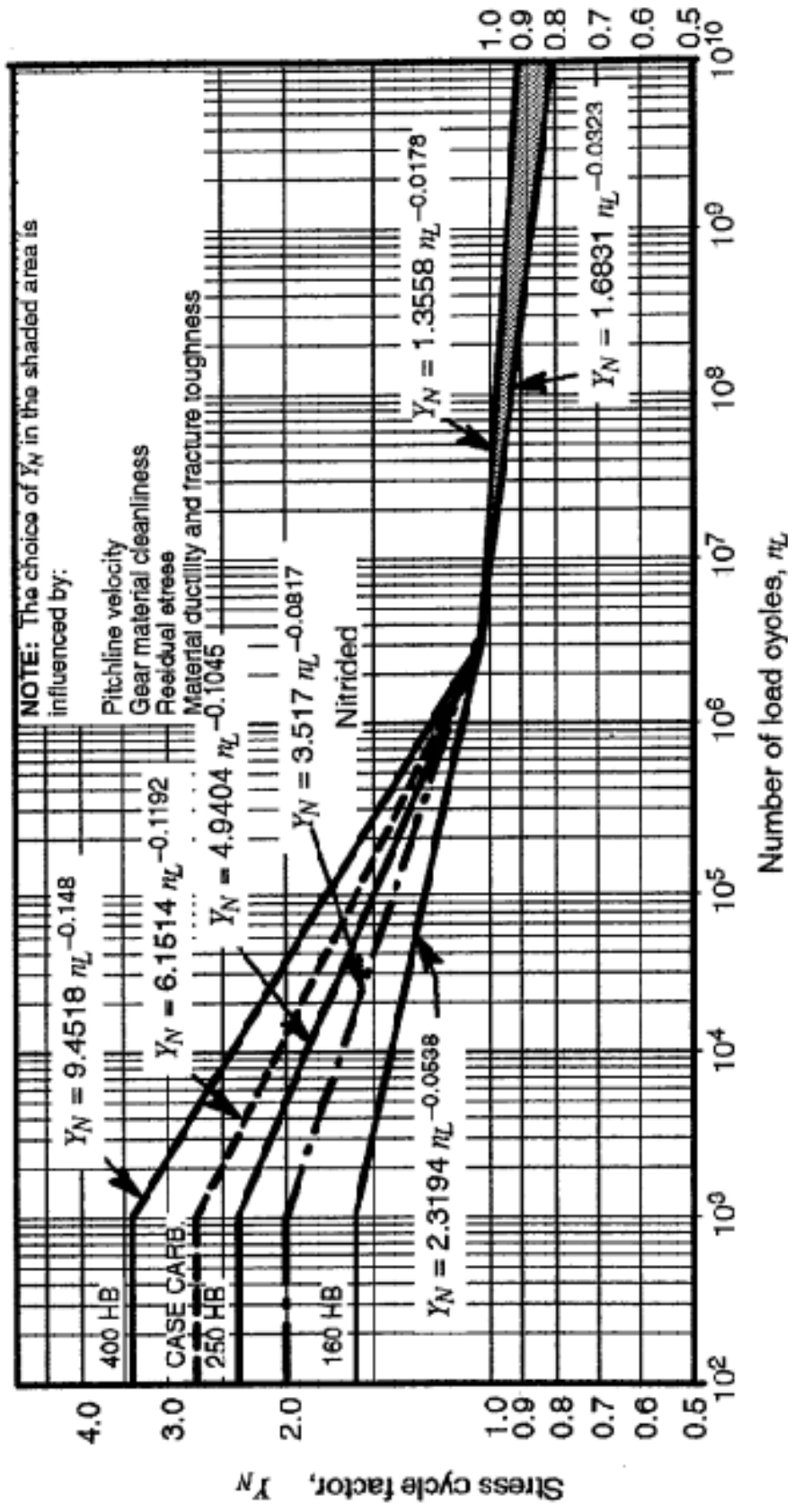
Fuente (Cypra, Beer, & Bauer, 1995)

Anexo 2.- Calidad del material



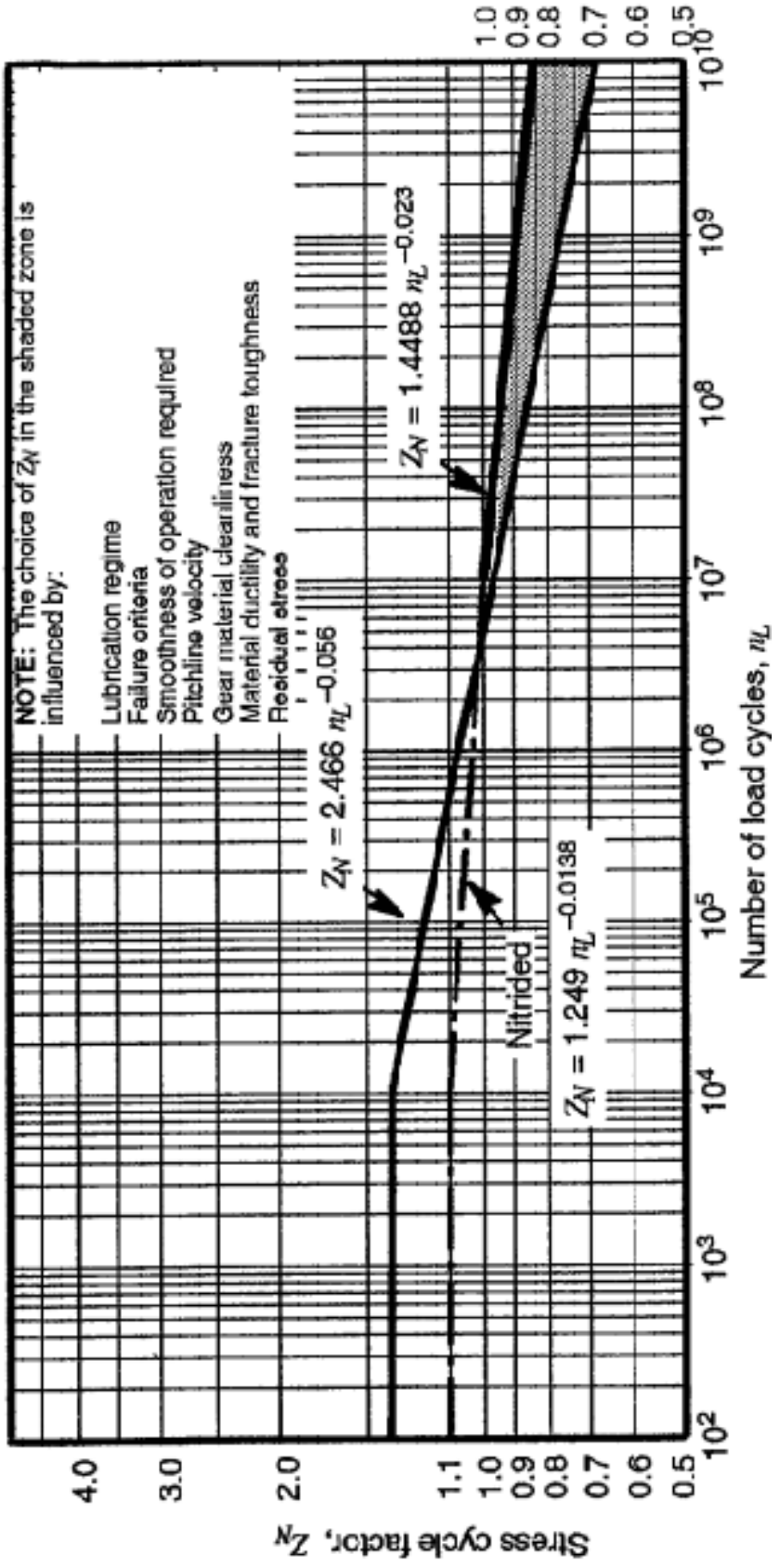

Fuente (AISI AGMA 2101)

Anexo 3.- Factor $Y_n$



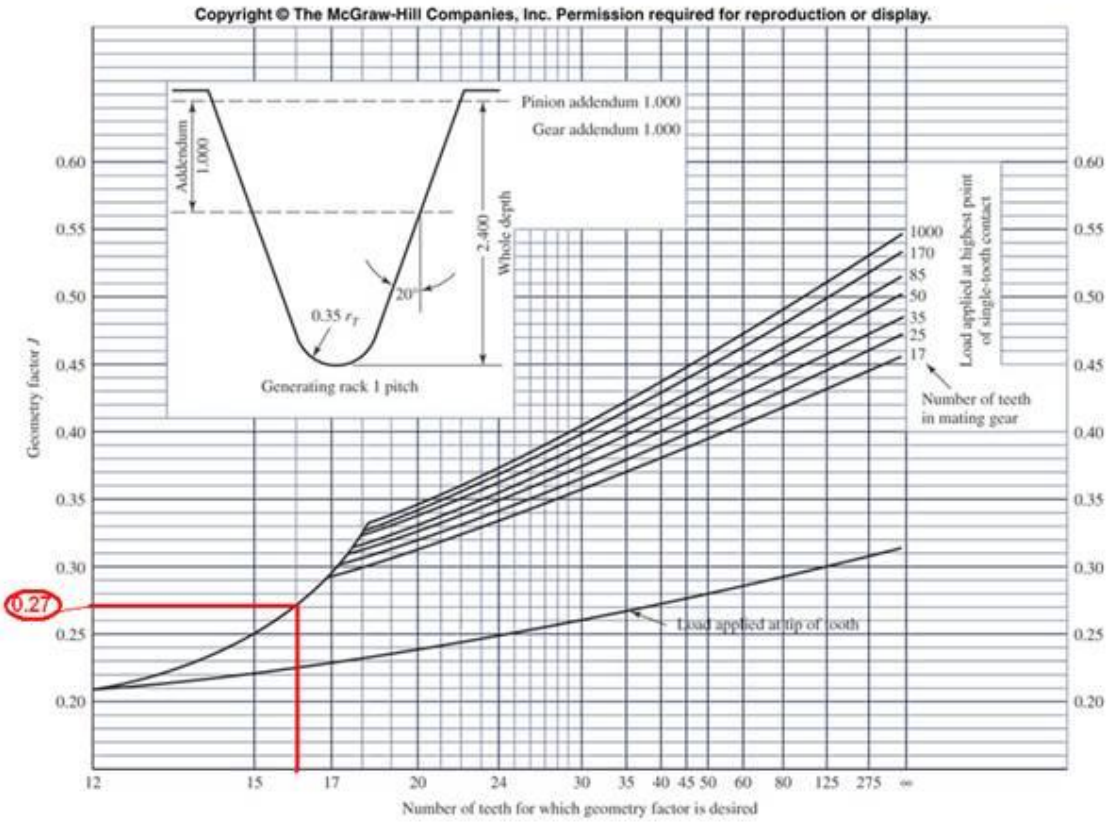

Fuente (AISI AGMA 2101)

Anexo 4.- Factor $Z_n$




Fuente (AISI AGMA 2101)

Anexo 5.- Factor $J$ ($Y_J$)




Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 6.- Factor de confiablidad

| Confiabilidad | $K_R(Y_Z)$ |
|---|---|
| 0.9999 | 1.5 |
| 0.999 | 1.25 |
| 0.99 | 1.00 |
| 0.90 | 0.85 |
| 0.5 | 0.7 |

Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 7.- Catalogo del material de BOHLER

# E 410/E 411

## 16MnCr5; 16MnCrS5
## Werkstoff-Nr. 1.7131; 1.7139

Mittelwertsanalyse
C 0,17 Si 0,3 Mn 1,2 Cr 0,9 S 0,03%

Valeurs moyennes d'analyse
C 0,17 Si 0,3 Mn 1,2 Cr 0,9 S 0,03%

**Eigenschaften:**
- Wirtschaftlicher, gut bearbeitbarer Chrom-Mangan-legierter Einsatzstahl
- Für Einfach- und Doppelhärtung

**Verwendung:**
- Zahnräder, Kettenräder, Nockenwellen, Steuerungsteile, Büchsen, Pleuelstangen

**Weichglühen:**
650–700°C / langsame Ofenabkühlung
Härte nach dem Weichglühen: max. 207 HB

**Vorvergüten:**
850–880°C / Öl, Warmbad 160–250°C, mit anschliessendem Anlassen bei 500–650°C

**Aufkohlen:**
900–950°C / Einsatzkasten, Öl oder Warmbad 160–250°C

**Kernhärten:**
850–880°C / Öl oder Warmbad 160–250°C

**Randhärten:**
810–840°C / Öl oder Warmbad 160–250°C. Erzielbare Oberflächenhärte: 62 HRC (Richtwert)

**Anlassen:**
170–210°C

**Lieferzustand geglüht:**
Härte max. 207 HB

**Propriétés:**
- Acier de cémentation allié au Cr-Mn, économique et bien usinable
- Pour trempe simple et double

**Applications:**
- Engrenages, roues d'entraînement à chaîne, cames, pièces de guidage, douilles, bielles

**Recuit doux:**
650–700°C / refroidissement lent au four
Dureté après le recuit doux: max. 207 HB

**Pré-trempe:**
850–880°C / à l'huile, au bain chaud à 160–250°C, puis revenu à 500–650°C

**Cémentation:**
900–950°C / cémenter en caisse, à l'huile ou au bain chaud à 160–250°C

**Trempe à cœur:**
850–880°C / à l'huile ou au bain chaud à 160–250°C

**Trempe superficielle:**
810–840°C / à l'huile ou au bain chaud à 160–250°C. Dureté superficielle obtenable: 62 HRC (valeur approx.)

**Revenu:**
170–210°C

**En état de livraison recuit:**
Dureté max. 207 HB

**Mechanische Eigenschaften vergütet nach EN 10084** — **Propriétés mécaniques traité selon EN 10084**

| Ø in mm<br>Ø en mm | Streckgrenze (0,2%-Grenze)<br>Limite d'élasticité<br>N/mm² | (kp/mm²) min. | Zugfestigkeit<br>Résistance à la traction<br>N/mm² | (kp/mm²) | Dehnung (Lo = 5 do)<br>Allongement<br>%, min. | Einschnürung<br>Striction<br>%, min. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 630 | (65) | 900–1200 | (90–120) | 9 | 35 |
| 30 | 600 | (60) | 800–1100 | (80–110) | 10 | 40 |
| 63 | 450 | (45) | 650– 950 | (65– 95) | 11 | 40 |

Fuente (BOHLER, s.f.)

Anexo 8.- Acabado superficial para el eje

| Acabado superficial | Factor a | | Exponente |
|---|---|---|---|
| | $S_{ut}\ Kpsi$ | $S_{ut}\ MPa$ | B |
| Esmerilado | 1.34 | 1.58 | -0.085 |
| Maquinado o laminado en frio | 2.7 | 4.51 | -0.265 |
| Laminado en caliente | 14.4 | 57.7 | -0.718 |
| Como sale de la forja | 39.9 | 272 | -0.995 |

Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 9.- Factor de tamaño

$$K_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2\ pulg \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10pulg \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51mm \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d < 254mm \end{cases}$$

Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 10.- Factor de temperatura para el eje

| Temperatura, ºC | $S_T/S_{RT}$ | Temperatura, ºF | $S_T/S_{RT}$ |
|---|---|---|---|
| 20 | 1.000 | 70 | 1 |
| 50 | 1.010 | 100 | 1.008 |
| 100 | 1.020 | 200 | 1.020 |
| 150 | 1.025 | 300 | 1.024 |
| 200 | 1.020 | 400 | 1.018 |
| 250 | 1.000 | 500 | 0.995 |
| 300 | 0.975 | 600 | 0.963 |
| 350 | 0.943 | 700 | 0.927 |
| 400 | 0.900 | 800 | 0.872 |
| 450 | 0.843 | 900 | 0.797 |
| 500 | 0.768 | 1000 | 0.698 |
| 550 | 0.672 | 1100 | 0.567 |
| 600 | 0.549 | | |

Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 11.- Factor de confiabilidad

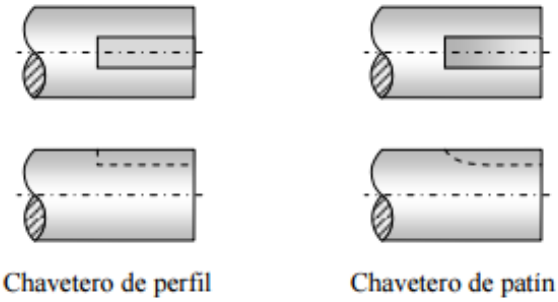
| Confiabilidad % | Variación de transformación $Z_a$ | Factor de confiabilidad $K_f$ |
|---|---|---|
| 50 | 0 | 1 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

Fuente (Budynas, 2008)

Anexo 12.- Factor $K_t$

**Tabla 5.4** Factores de concentración de esfuerzos por fatiga para chaveteros, válidos para aceros (fuente: Faires[3]).

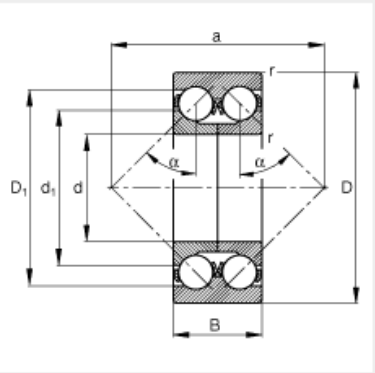
| Clase de chavetero | $K_f$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Recocido, dureza menor que 200 HB | | Endurecido, dureza mayor que 200 HB | |
| | Flexión | Torsión | Flexión | Torsión |
| Perfil | 1.6 | 1.3 | 2.0 | 1.6 |
| Patín | 1.3 | 1.3 | 1.6 | 1.6 |

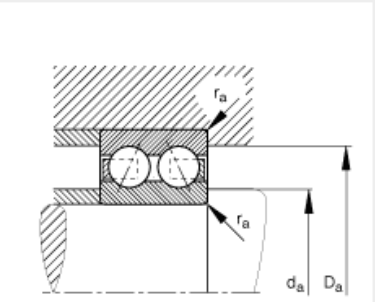


Chavetero de perfil Chavetero de patín

Fuente Licro de faires

Anexo 13.- Rodamiento 3305






| | | |
|---|---|---|
| d | 25 mm | |
| D | 62 mm | |
| B | 25,4 mm | |
| a | 56 mm | |
| $D_1$ | 51,8 mm | |
| $D_{a\ max}$ | 55 mm | |
| $d_1$ | 47,5 mm | |
| $d_{a\ min}$ | 32 mm | |
| $r_{a\ max}$ | 1 mm | |
| $r_{min}$ | 1,1 mm | |
| α | 45 ° | Ángulo de contacto |
| m | 0,341 kg | Peso |
| $C_r$ | 30000 N | Capacidad de carga dinámica, radial |
| $C_{0r}$ | 23200 N | Capacidad de carga estática, radial |
| $n_G$ | 13100 1/min | Velocidad límite |
| $n_B$ | 8400 1/min | Velocidad de referencia |
| $C_{ur}$ | 1270 N | Carga límite de fatiga, radial |

Fuente (MEDIAS.SCHAEFFLER, s.f.)

# Anexo 14.- Vida nominal

**Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas**

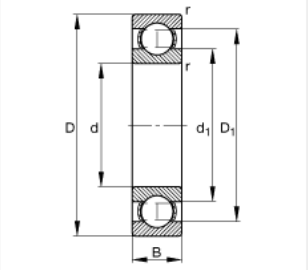
| Clase de máquinas | Vida nominal<br>Horas de funcionamiento |
|---|---|
| Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico | 300 ... 3 000 |
| Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción | 3 000 ... 8 000 |
| Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc. | 8 000 ... 12 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas | 10 000 ... 25 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para imprentas, separadores y centrífugas | 20 000 ... 30 000 |
| Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil | 40 000 ... 50 000 |
| Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador | 30 000 ... 100 000 |
| Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos | 60 000 ... 100 000 |
| Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos | > 100 000 |

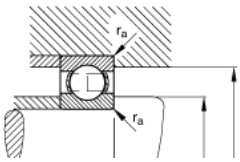
Fuente (SKF, 2006)

Anexo 15.- Rodamiento 6206

**Rodamiento rígido a bolas 6206**

medidas principales según DIN 625-1





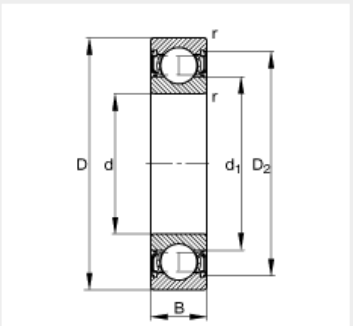

| | | |
|---|---|---|
| d | 30 mm | |
| D | 62 mm | |
| B | 16 mm | |
| $D_1$ | 52,1 mm | |
| $D_{a\ max}$ | 56,4 mm | |
| $d_1$ | 40 mm | |
| $d_{a\ min}$ | 35,6 mm | |
| $r_{a\ max}$ | 1 mm | |
| $r_{min}$ | 1 mm | |
| m | 0,195 kg | Peso |
| $C_r$ | 20700 N | Capacidad de carga dinámica, radial |
| $C_{0r}$ | 11300 N | Capacidad de carga estática, radial |
| $n_G$ | 16200 1/min | Velocidad límite |
| $n_B$ | 12000 1/min | Velocidad de referencia |
| $C_{ur}$ | 570 N | Carga límite de fatiga, radial |

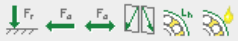
Fuente (SCHAEFFLER, s.f.)

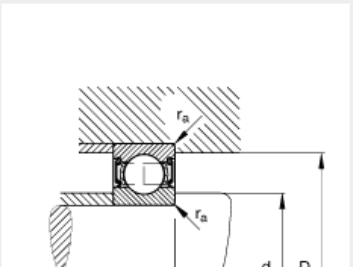
Anexo 16.- Rodamiento 6304

**Rodamiento rígido a bolas 6304-2RSR**

medidas principales según DIN 625-1, obturación de labio en ambos lados



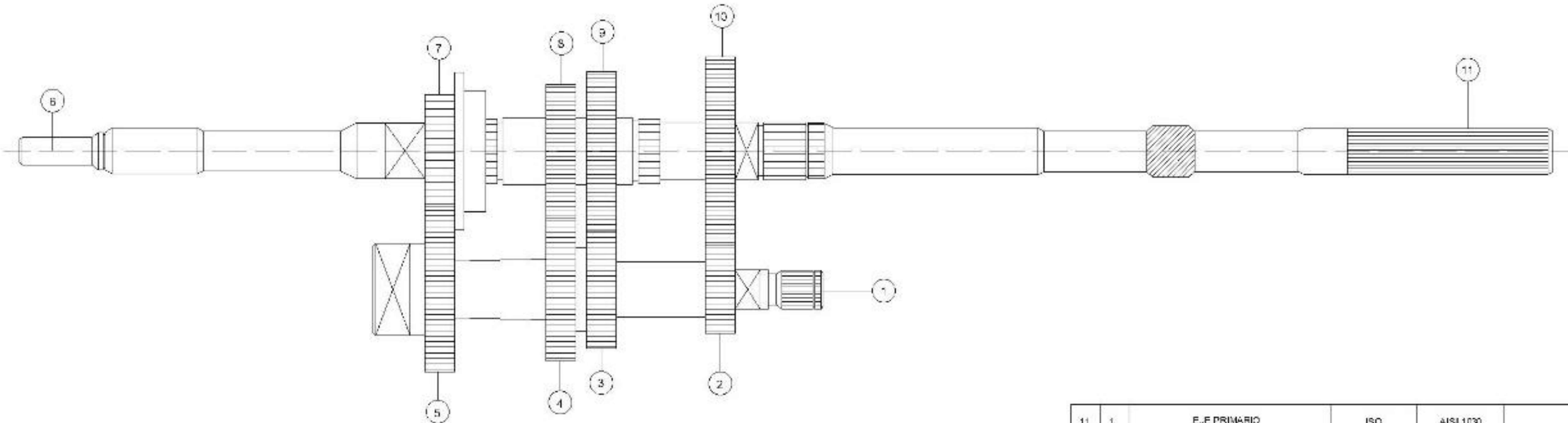






| | | |
|---|---|---|
| d | 20 mm | |
| D | 52 mm | |
| B | 15 mm | |
| $D_2$ | 44,4 mm | |
| $D_{a\ max}$ | 45 mm | |
| $d_1$ | 30,3 mm | |
| $d_{a\ min}$ | 27 mm | |
| $r_{a\ max}$ | 1 mm | |
| $r_{min}$ | 1,1 mm | |
| m | 0,155 kg | Peso |
| $C_r$ | 16900 N | Capacidad de carga dinámica, radial |
| $C_{0r}$ | 7900 N | Capacidad de carga estática, radial |
| $n_G$ | 9500 1/min | Velocidad límite |
| $C_{ur}$ | 400 N | Carga límite de fatiga, radial |

Fuente (SCHAEFFLER, s.f.)

Anexo 17.- Planos de construcción



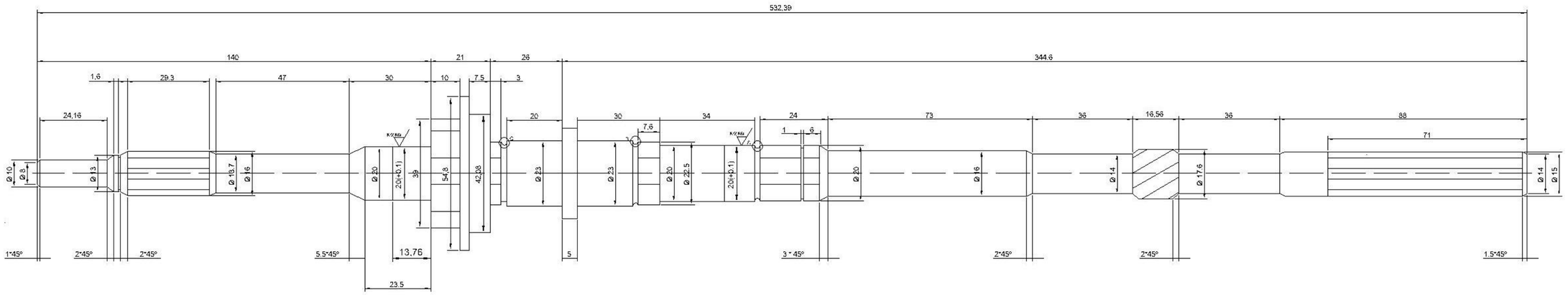

| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 1 | EJE PRIMARIO | ISO | AISI 1030 | |
| 10 | 1 | PIÑON DE CUARTA EJE PRIMARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 9 | 1 | PIÑON DE TERCERA EJE PRIMARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 8 | 1 | PIÑON DE SEGUNDA EJE PRIMARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 7 | 1 | PIÑON DE PRIMERA VELOCIDAD | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 6 | 1 | EJE DE ENTRADA PILOTO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 5 | 1 | PIÑON DE PRIMERA EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 4 | 1 | PIÑON DE SEGUNDA EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 3 | 1 | PIÑON DE TERCERA EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 2 | 1 | PIÑON DE CUARTA EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| 1 | 1 | EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |

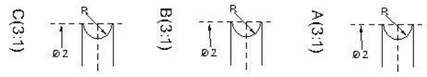
| | | |
|---|---|---|
| Escala: | Fecha: 08-05-2016 | Calif. |

# CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

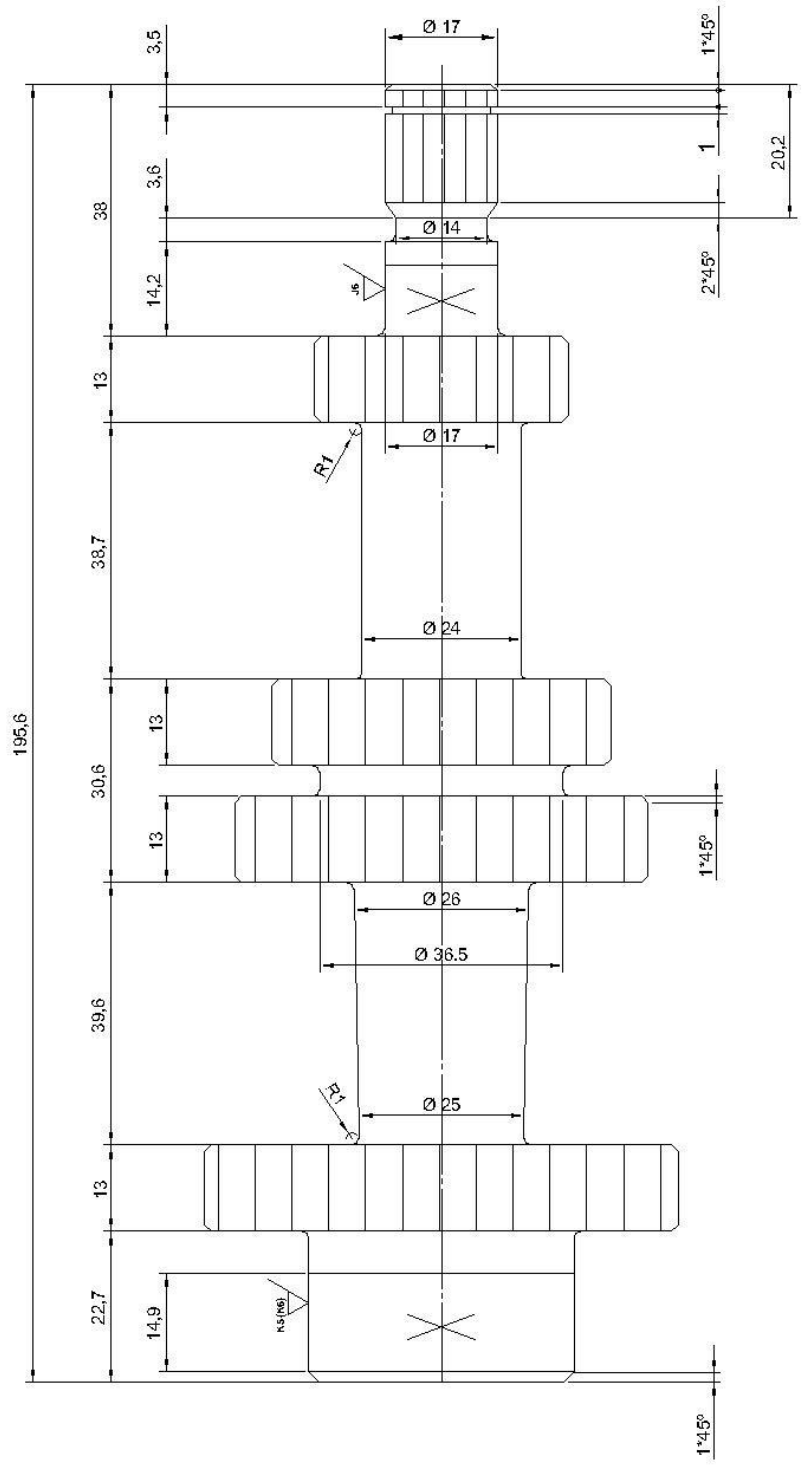
| | |
|---|---|
| Dibujó: Tirado Enrique, Quevedo Vicente | Ciclo: |
| Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº. 1 |




cementado
N6

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 1 | EJE PRIMARIO | ISO | AISI 1030 | |
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |
| Escala: | | Fecha: 08-03-2016 Calif: | UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA | | |
| CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200 | | | Dibujó: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente | Ciclo: | |
| | | | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | N°: 2 | |



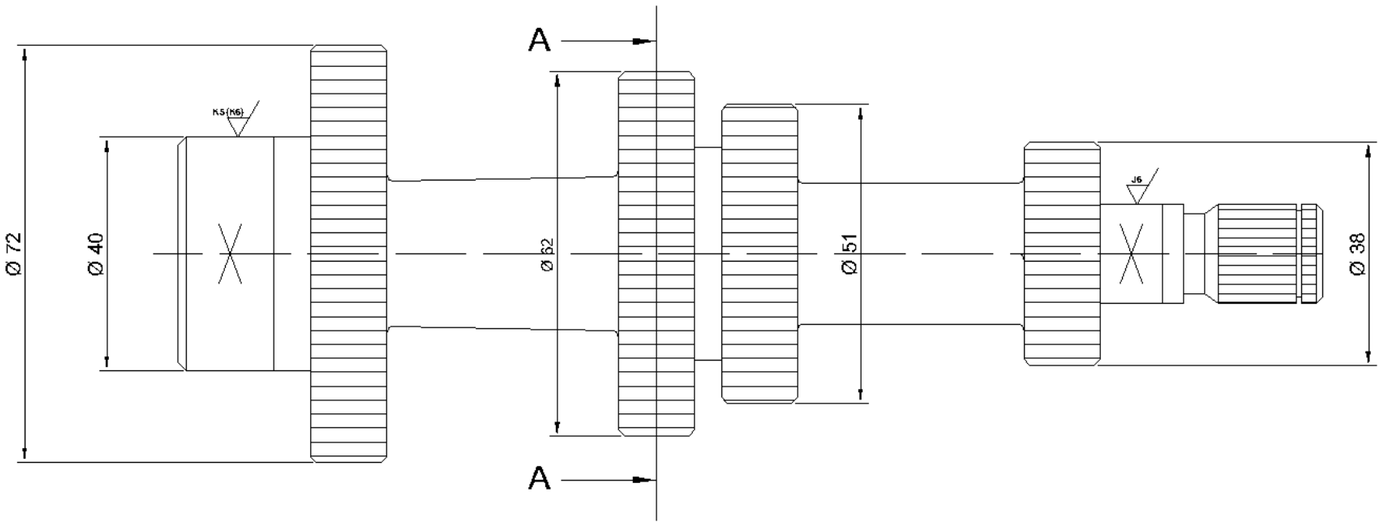

| 1 | 1 | EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |

| Escala: | Fecha: 08-03-2016 | Calif: |
|---|---|---|

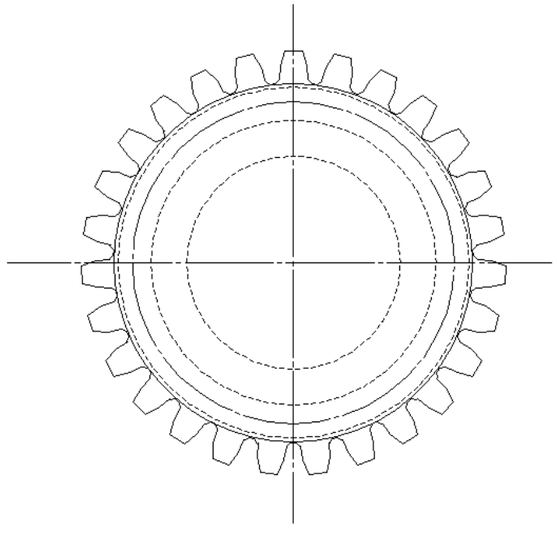
# CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

| Dibujò: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente | Ciclo: |
|---|---|
| Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº: 3 |

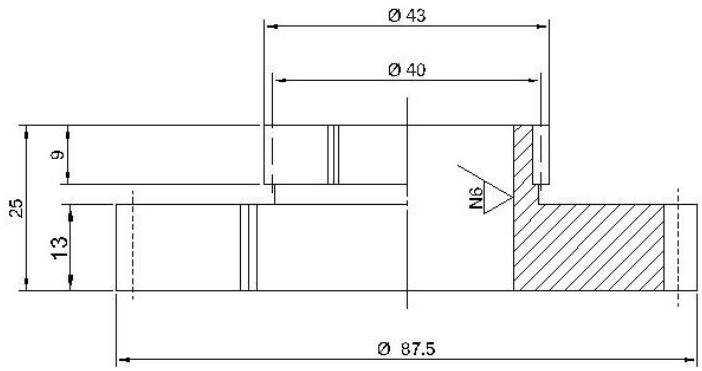


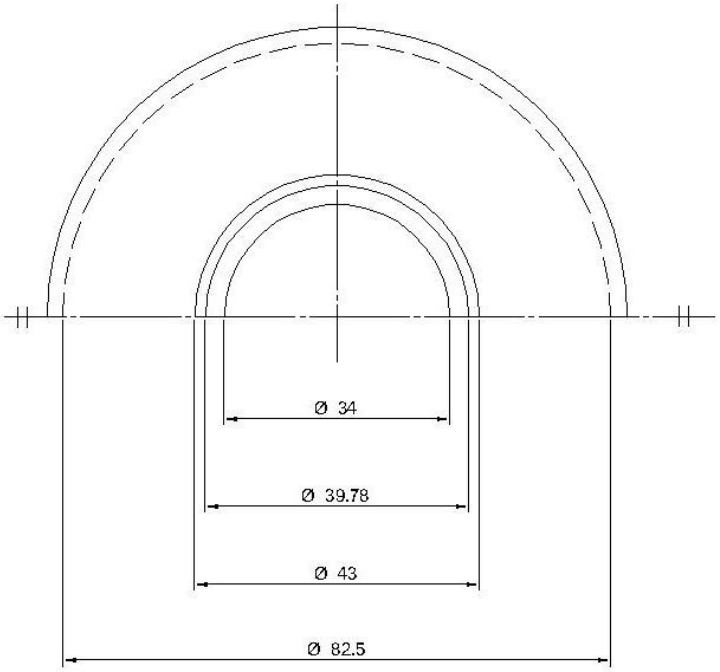

A - A



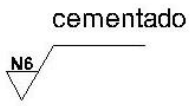
cementado
N6

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | CORTE EJE SECUNDARIO | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |
| Escala: | | Fecha: 08-03-2016 | Calif: | UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA | |
| CAJA DE CAMBIOS<br>DATSUN 1200 | | | Dibujò: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente | Ciclo: | |
| | | | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº: 4 | |



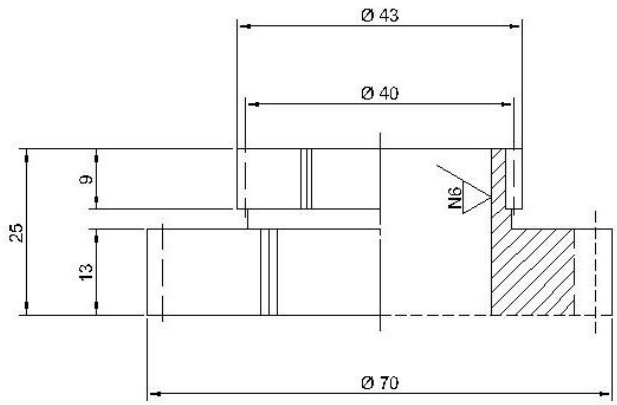



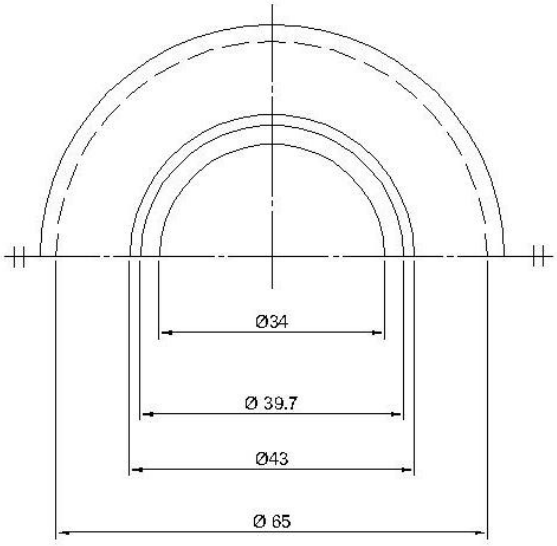

| DATOS DEL ENGRANE | | |
|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | Z | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] | 20 |
| [illegible] | [illegible] | [illegible] |




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1 | ENGRANAJE DE PRIMERA VELOCIDAD | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Escala: | Fecha: 08-03-2016 | Calif: | UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA |
| CAJA DE CAMBIOS<br>DATSUN 1200 | | | Dibujò: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente<br>Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz |
| | | | Ciclo:<br>Nº: 5 |




| DATOS DEL ENGRANE | | |
|---|---|---|
| MODULO | m | 2.5 |
| N° DIENTES | Z | 26 |
| ANGULO DE PRESION | α | 20 |
| DIS. ENTRE EJES(STD) | C | 65 |

cementado

N6

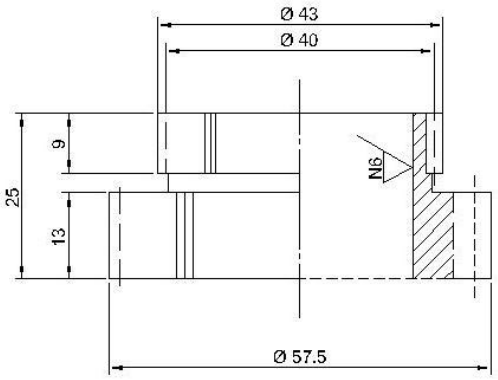
| 9 | 1 | ENGRANAJE DE SEGUNDA VELOCIDAD | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |

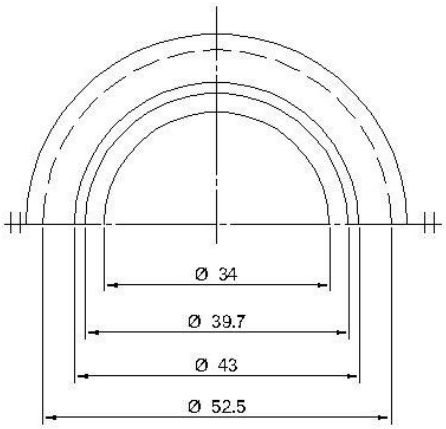
| Escala: | Fecha: 08-03-2016 | Calif: |
|---|---|---|

# CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

| Dibujò: Tirado Enrique Quevedo Vicente | Ciclo: |
|---|---|
| Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº: 6 |



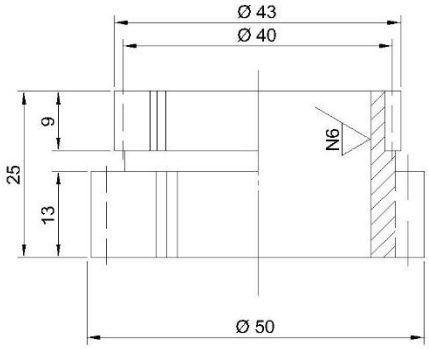



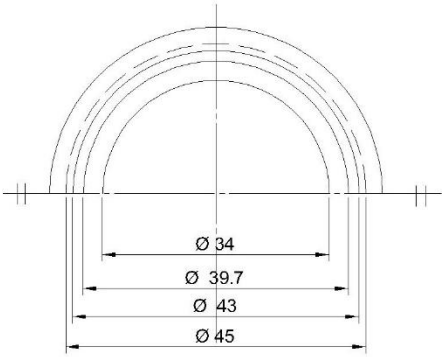

| DATOS DEL ENGRANE | | |
|---|---|---|
| MODULO | m | 2.5 |
| No DIENTES | Z | 21 |
| ANGULO DE PRESION | α | 20 |
| DIS. ENTRE CENTROS | C | 60 |

cementado

N6

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 1 | ENGRANAJE DE TERCERA VELOCIDAD | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |
| Escala: | | Fecha: 08-03-2016 | Calif: | UNIVERSIDAD DEL AZUAY<br>FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA | |
| CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200 | | | Dibujò: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente | Ciclo: | |
| | | | Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº: 7 | |




| DATOS DEL ENGRANE | | |
|---|---|---|
| MODULO | m | 2,5 |
| Nº DIENTES | Z | 18 |
| ANGULO DE PRESION | ϕ | 20 |
| DIS. ENTRE EJES(mm) | C | 60 |

cementado

N6

| 7 | 1 | ENGRANAJE DE CUARTA VELOCIDAD | ISO | AISI 8620 | CEMENTADO |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos | Cant. | Denominacion | Norma | Material | Notas |

| Escala: | Fecha: 08-03-2016 | Calif: |
|---|---|---|

# CAJA DE CAMBIOS DATSUN 1200

UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

| Dibujò: Tirado Enrique<br>Quevedo Vicente | Ciclo: |
|---|---|
| Especialidad: Ing. Mecanica Automotriz | Nº: 8 |

ANEXO 18.- Factura del material y tratamiento térmico

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S. A.

R.U.C.: 1791304667001

FACTURA

No. 002-001-592759899

ESTADO SRI: AUTORIZADO

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN:
1803201615581817913046670015376337894

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN:
18/03/2016 15:58:18

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

CLAVE DE ACCESO:
1803201601179130466700120020015927598991791304613

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Dir. Matriz: Calle de las Avellanas E1-112 y Panamericana Norte KM 5 1/2

Dir. Sucursal: Vía a Daule Km. 7 ½ - Guayaquil (Ecuador)

Contribuyente Especial Nro.: 194

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Razón Social / Nombres y Apellidos: FREDDY EDY PILAY LARGO

RUC / CI: 1716039878001

Fecha Emisión: 18/03/2016

| Cod. Principal | Cant. | Descripción | Detalle Adicional | Precio Unitario | Descuento | Precio Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0000000050570 02224 | 16.00 | ACERO AISI/SAE 8620/E410 Rd 65.00mm redonda 65 mm x 300 mm | UNIDAD: KG | 2.60 | 0.00 | 41.60 |
| 0000000050570 02209 | 4.00 | ACERO AISI/SAE 8620/E410 Rd 25.00mm redonda 25 mm x 1.000 mm | UNIDAD: KG | 2.60 | 0.00 | 10.40 |
| 0000000050570 02239 | 5.60 | ACERO AISI/SAE 8620/E410 Rd 130.00mm redonda 130 mm x 50 mm | UNIDAD: KG | 2.60 | 0.00 | 14.56 |
| 0000000050570 02242 | 14.00 | ACERO AISI/SAE 8620/E410 Rd 160.00mm redonda 160 mm x 85 mm | UNIDAD: KG | 2.60 | 0.00 | 36.40 |
| 57CEMENTA 0.7 -1.0 | 5.00 | SERVICIO BOHLER CEMENTACION 0.7-1.0mm | UNIDAD: KG | 5.50 | 0.00 | 27.50 |

Información Adicional

Teléfono del Cliente: 0987438346

Dirección del Cliente: GONZALO SUAREZ 484 Y GARCIA MORENO

Condiciones de pago: CO12 Contado

Fecha de vencimiento: 18/03/2016

Vendedor: Tomás Anchundia

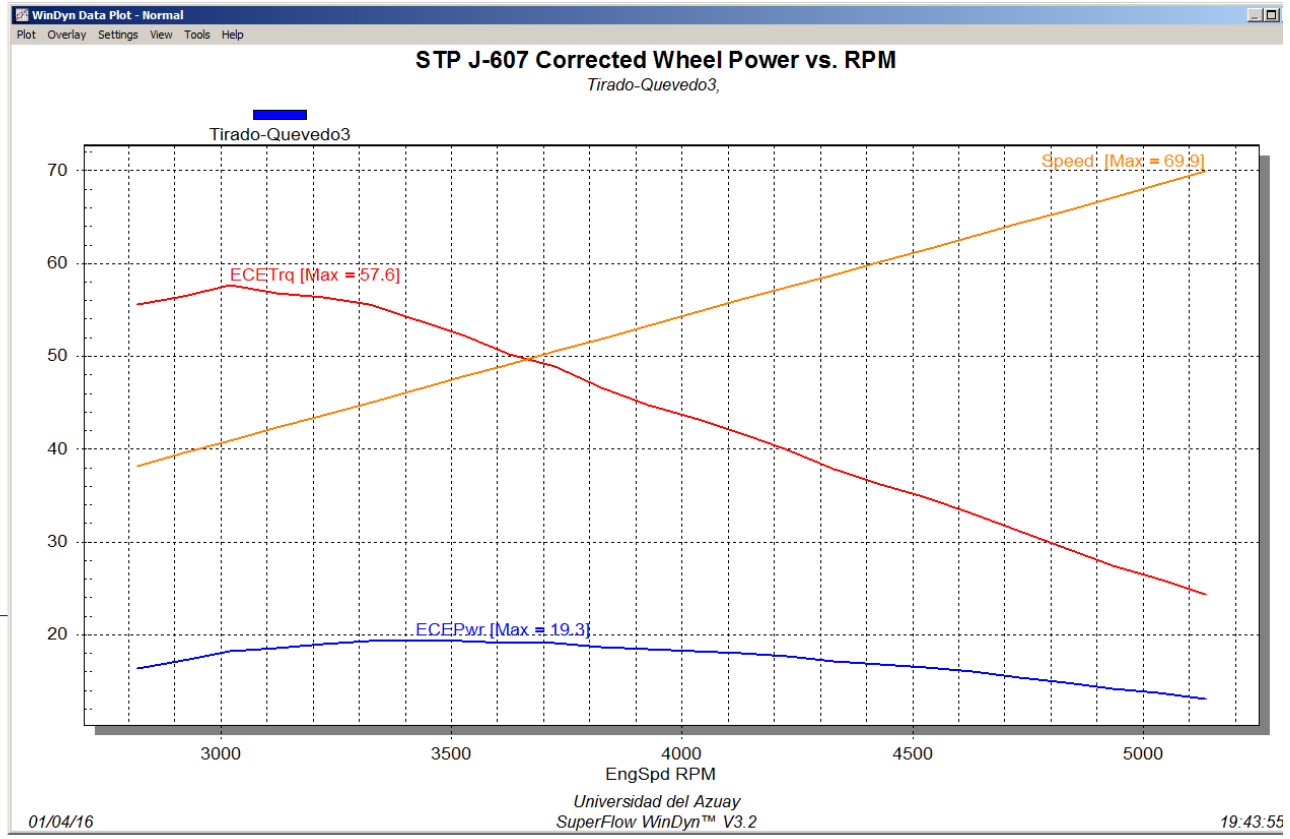
Núm. pedido del cliente: PILAY

| | |
|---|---|
| SUBTOTAL 12% | 130.46 |
| SUBTOTAL 0% | 0.00 |
| SUBTOTAL No sujeto de IVA | 0.00 |
| EXENTO DE IVA | 0.00 |
| SUBTOTAL SIN IMPUESTOS | 130.46 |
| DESCUENTO | 0.00 |
| ICE | 0.00 |
| IVA 12% | 15.66 |
| VALOR TOTAL | 146.12 |

Anexo 19.- Banco dinamométrico prueba de engranes helicoidales

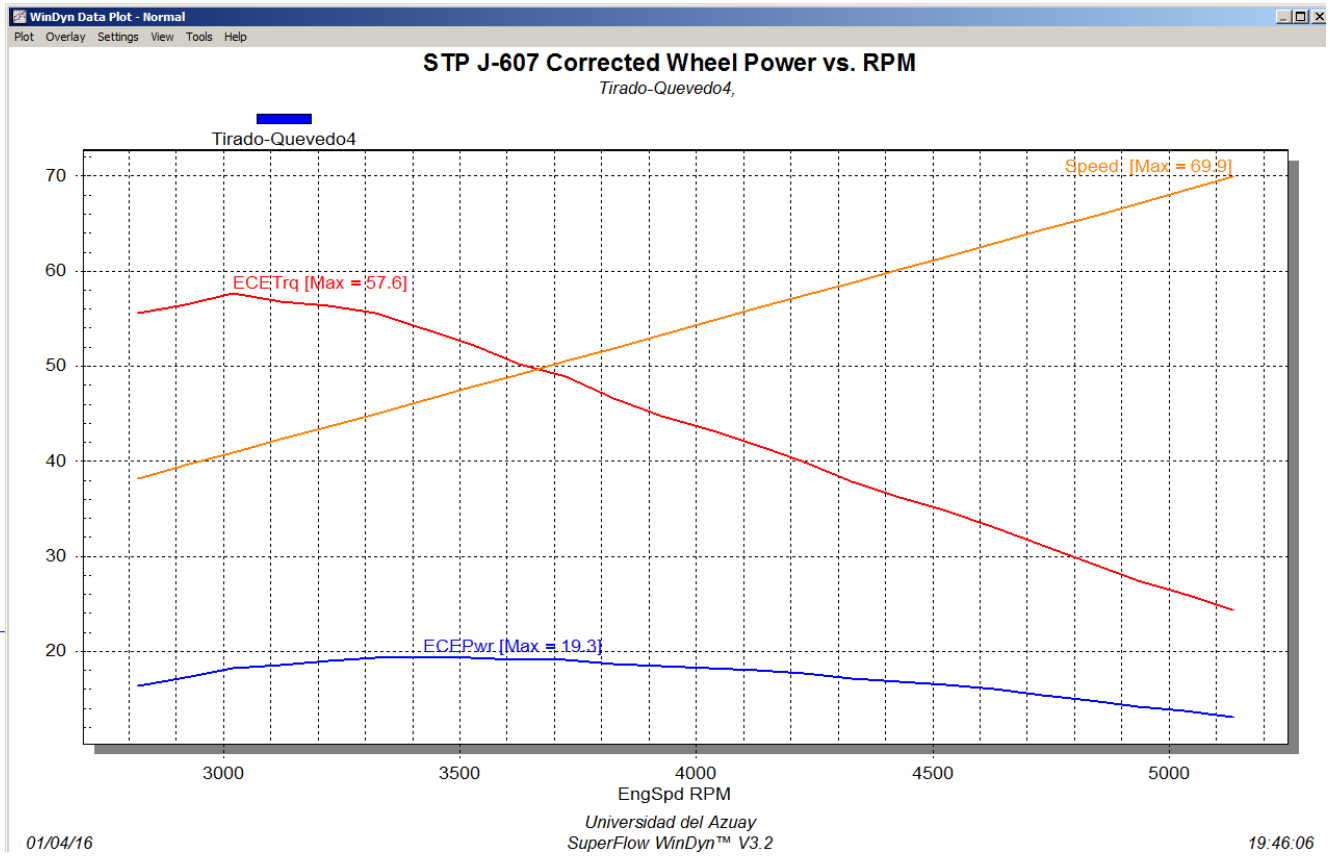
Gráfica 1

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2819 | 16.4 | 55.6 | 11.6 | 39.2 | 1.417 | 38.2 | 1.5 | 61 |
| 2920 | 17.3 | 56.4 | 12.2 | 39.8 | 1.417 | 39.6 | 3.0 | 64 |
| 3021 | 18.2 | 57.6 | 12.9 | 40.7 | 1.417 | 40.9 | 4.6 | 66 |
| 3121 | 18.6 | 56.8 | 13.1 | 40.1 | 1.417 | 42.3 | 6.2 | 68 |
| 3222 | 19.0 | 56.3 | 13.4 | 39.7 | 1.417 | 43.7 | 7.8 | 70 |
| 3323 | 19.3 | 55.5 | 13.6 | 39.2 | 1.417 | 45.0 | 9.3 | 72 |
| 3424 | 19.3 | 54.0 | 13.7 | 38.1 | 1.417 | 46.4 | 11.0 | 75 |
| 3524 | 19.3 | 52.3 | 13.6 | 36.9 | 1.417 | 47.8 | 12.6 | 77 |
| 3625 | 19.1 | 50.3 | 13.5 | 35.5 | 1.417 | 49.1 | 14.2 | 79 |
| 3726 | 19.1 | 48.9 | 13.5 | 34.5 | 1.417 | 50.5 | 15.8 | 81 |
| 3826 | 18.7 | 46.6 | 13.2 | 32.9 | 1.417 | 51.9 | 17.4 | 84 |
| 3927 | 18.4 | 44.8 | 13.0 | 31.6 | 1.417 | 53.3 | 19.1 | 86 |
| 4028 | 18.3 | 43.3 | 12.9 | 30.6 | 1.417 | 54.7 | 20.6 | 88 |
| 4128 | 18.0 | 41.7 | 12.7 | 29.4 | 1.417 | 56.1 | 22.3 | 90 |
| 4229 | 17.7 | 40.0 | 12.5 | 28.2 | 1.417 | 57.4 | 23.8 | 92 |
| 4330 | 17.2 | 37.9 | 12.1 | 26.7 | 1.417 | 58.8 | 25.5 | 95 |
| 4430 | 16.8 | 36.2 | 11.8 | 25.5 | 1.417 | 60.2 | 27.2 | 97 |
| 4531 | 16.5 | 34.8 | 11.6 | 24.5 | 1.417 | 61.6 | 28.8 | 99 |
| 4632 | 16.0 | 33.0 | 11.3 | 23.3 | 1.417 | 63.0 | 30.4 | 101 |
| 4733 | 15.4 | 31.1 | 10.9 | 22.0 | 1.417 | 64.3 | 32.0 | 104 |
| 4833 | 14.8 | 29.3 | 10.5 | 20.7 | 1.417 | 65.7 | 33.7 | 106 |
| 4934 | 14.2 | 27.4 | 10.0 | 19.3 | 1.417 | 67.1 | 35.3 | 108 |
| 5035 | 13.7 | 26.0 | 9.7 | 18.4 | 1.417 | 68.5 | 36.9 | 110 |
| 5135 | 13.1 | 24.4 | 9.3 | 17.2 | 1.417 | 69.9 | 38.6 | 112 |



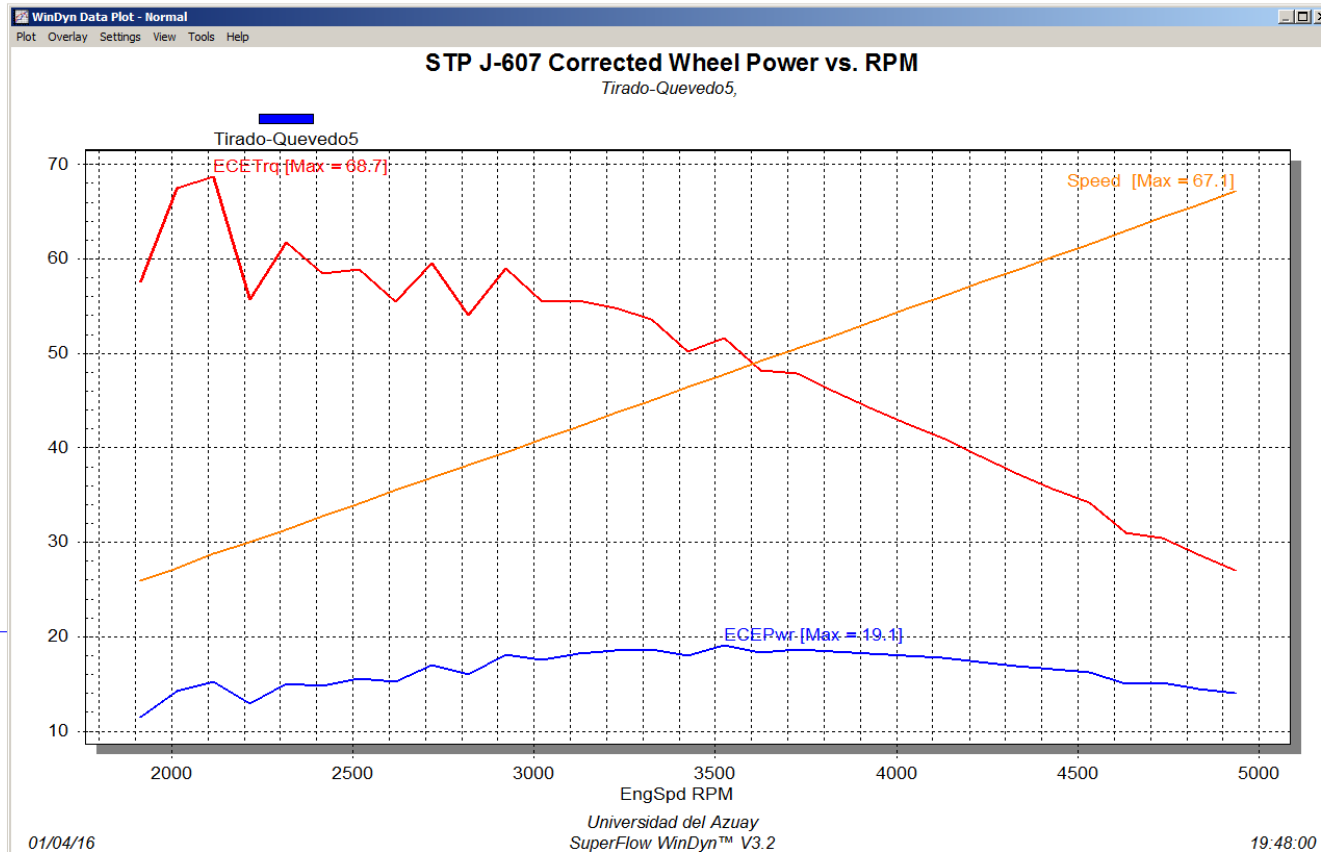
Gráfica 2

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2819 | 16.4 | 55.6 | 11.6 | 39.2 | 1.417 | 38.2 | 1.5 | 61 |
| 2920 | 17.3 | 56.4 | 12.2 | 39.8 | 1.417 | 39.6 | 3.0 | 64 |
| 3021 | 18.2 | 57.6 | 12.9 | 40.7 | 1.417 | 40.9 | 4.6 | 66 |
| 3121 | 18.6 | 56.8 | 13.1 | 40.1 | 1.417 | 42.3 | 6.2 | 68 |
| 3222 | 19.0 | 56.3 | 13.4 | 39.7 | 1.417 | 43.7 | 7.8 | 70 |
| 3323 | 19.3 | 55.5 | 13.6 | 39.2 | 1.417 | 45.0 | 9.3 | 72 |
| 3424 | 19.3 | 54.0 | 13.7 | 38.1 | 1.417 | 46.4 | 11.0 | 75 |
| 3524 | 19.3 | 52.3 | 13.6 | 36.9 | 1.417 | 47.8 | 12.6 | 77 |
| 3625 | 19.1 | 50.3 | 13.5 | 35.5 | 1.417 | 49.1 | 14.2 | 79 |
| 3726 | 19.1 | 48.9 | 13.5 | 34.5 | 1.417 | 50.5 | 15.8 | 81 |
| 3826 | 18.7 | 46.6 | 13.2 | 32.9 | 1.417 | 51.9 | 17.4 | 84 |
| 3927 | 18.4 | 44.8 | 13.0 | 31.6 | 1.417 | 53.3 | 19.1 | 86 |
| 4028 | 18.3 | 43.3 | 12.9 | 30.6 | 1.417 | 54.7 | 20.6 | 88 |
| 4128 | 18.0 | 41.7 | 12.7 | 29.4 | 1.417 | 56.1 | 22.3 | 90 |
| 4229 | 17.7 | 40.0 | 12.5 | 28.2 | 1.417 | 57.4 | 23.8 | 92 |
| 4330 | 17.2 | 37.9 | 12.1 | 26.7 | 1.417 | 58.8 | 25.5 | 95 |
| 4430 | 16.8 | 36.2 | 11.8 | 25.5 | 1.417 | 60.2 | 27.2 | 97 |
| 4531 | 16.5 | 34.8 | 11.6 | 24.5 | 1.417 | 61.6 | 28.8 | 99 |
| 4632 | 16.0 | 33.0 | 11.3 | 23.3 | 1.417 | 63.0 | 30.4 | 101 |
| 4733 | 15.4 | 31.1 | 10.9 | 22.0 | 1.417 | 64.3 | 32.0 | 104 |
| 4833 | 14.8 | 29.3 | 10.5 | 20.7 | 1.417 | 65.7 | 33.7 | 106 |
| 4934 | 14.2 | 27.4 | 10.0 | 19.3 | 1.417 | 67.1 | 35.3 | 108 |
| 5035 | 13.7 | 26.0 | 9.7 | 18.4 | 1.417 | 68.5 | 36.9 | 110 |
| 5135 | 13.1 | 24.4 | 9.3 | 17.2 | 1.417 | 69.9 | 38.6 | 112 |



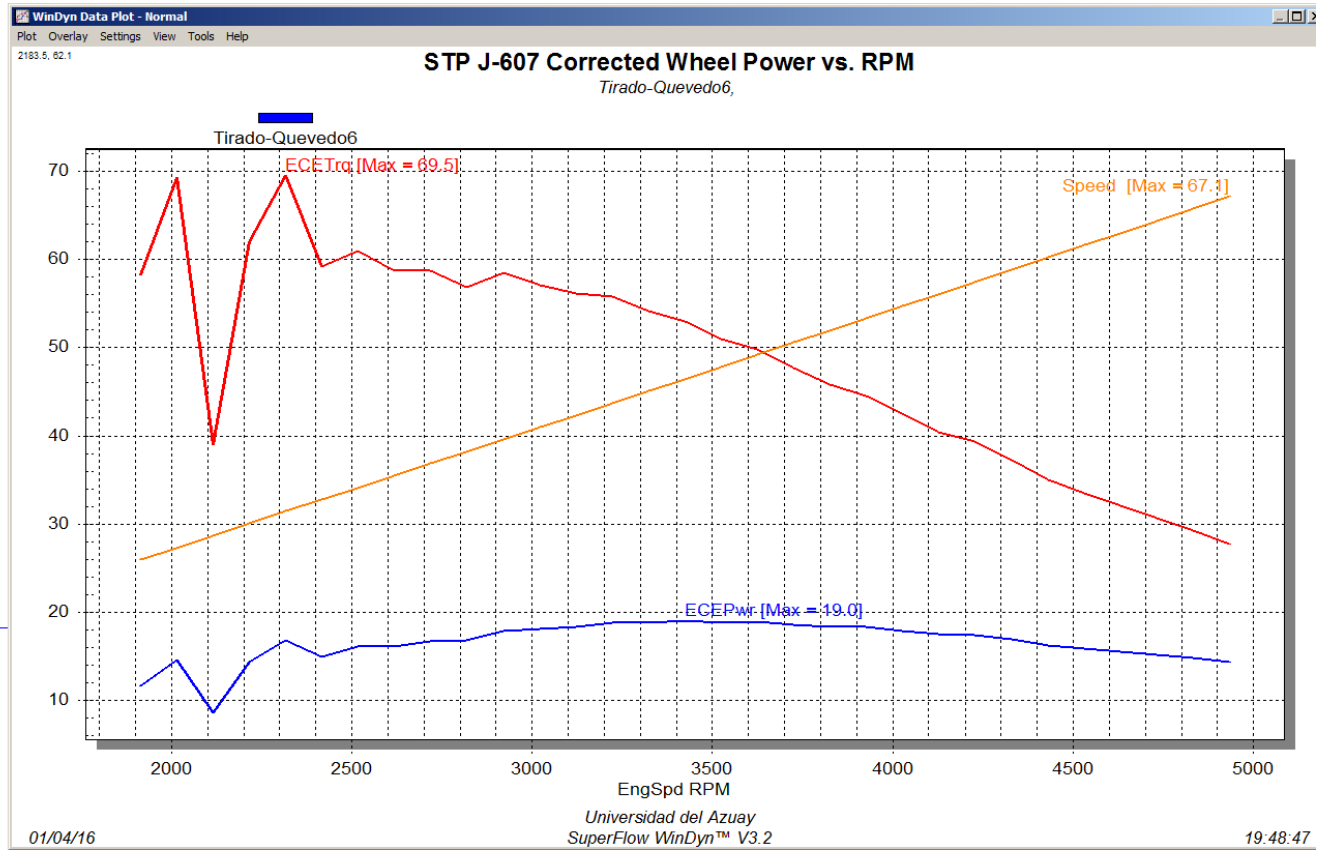
Gráfica 3

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 11.5 | 57.6 | 8.1 | 40.6 | 1.418 | 25.9 | 1.4 | 42 |
| 2014 | 14.2 | 67.5 | 10.0 | 47.6 | 1.418 | 27.3 | 2.4 | 44 |
| 2115 | 15.2 | 68.7 | 10.7 | 48.4 | 1.418 | 28.8 | 3.9 | 46 |
| 2215 | 12.9 | 55.7 | 9.1 | 39.3 | 1.418 | 30.1 | 5.1 | 48 |
| 2316 | 15.0 | 61.8 | 10.6 | 43.6 | 1.418 | 31.4 | 6.2 | 50 |
| 2417 | 14.8 | 58.5 | 10.4 | 41.3 | 1.418 | 32.7 | 7.5 | 53 |
| 2517 | 15.5 | 58.9 | 11.0 | 41.6 | 1.418 | 34.1 | 8.8 | 55 |
| 2618 | 15.2 | 55.5 | 10.7 | 39.1 | 1.418 | 35.5 | 10.2 | 57 |
| 2719 | 17.0 | 59.6 | 12.0 | 42.0 | 1.418 | 36.8 | 11.2 | 59 |
| 2819 | 16.0 | 54.1 | 11.3 | 38.2 | 1.418 | 38.2 | 12.6 | 61 |
| 2920 | 18.1 | 59.0 | 12.7 | 41.6 | 1.418 | 39.6 | 13.8 | 64 |
| 3021 | 17.6 | 55.5 | 12.4 | 39.2 | 1.418 | 40.9 | 15.1 | 66 |
| 3121 | 18.2 | 55.6 | 12.8 | 39.2 | 1.418 | 42.3 | 16.3 | 68 |
| 3222 | 18.5 | 54.9 | 13.1 | 38.7 | 1.418 | 43.7 | 17.6 | 70 |
| 3323 | 18.7 | 53.6 | 13.2 | 37.8 | 1.418 | 45.0 | 18.8 | 72 |
| 3424 | 18.0 | 50.2 | 12.7 | 35.4 | 1.418 | 46.4 | 20.1 | 75 |
| 3524 | 19.1 | 51.6 | 13.4 | 36.4 | 1.418 | 47.8 | 21.4 | 77 |
| 3625 | 18.3 | 48.2 | 12.9 | 34.0 | 1.418 | 49.2 | 22.7 | 79 |
| 3726 | 18.7 | 47.8 | 13.2 | 33.7 | 1.418 | 50.5 | 23.9 | 81 |
| 3826 | 18.4 | 46.0 | 13.0 | 32.4 | 1.418 | 51.9 | 25.2 | 84 |
| 3927 | 18.2 | 44.3 | 12.8 | 31.2 | 1.418 | 53.3 | 26.5 | 86 |
| 4028 | 18.0 | 42.6 | 12.7 | 30.0 | 1.418 | 54.7 | 27.7 | 88 |
| 4128 | 17.7 | 41.0 | 12.5 | 28.9 | 1.418 | 56.1 | 29.0 | 90 |
| 4229 | 17.4 | 39.2 | 12.2 | 27.6 | 1.418 | 57.4 | 30.3 | 92 |
| 4330 | 16.9 | 37.3 | 11.9 | 26.3 | 1.418 | 58.8 | 31.6 | 95 |
| 4430 | 16.5 | 35.7 | 11.7 | 25.1 | 1.418 | 60.2 | 32.9 | 97 |
| 4531 | 16.2 | 34.2 | 11.4 | 24.1 | 1.418 | 61.6 | 34.1 | 99 |
| 4632 | 15.1 | 31.0 | 10.6 | 21.9 | 1.418 | 63.0 | 35.5 | 101 |
| 4733 | 15.1 | 30.5 | 10.6 | 21.5 | 1.418 | 64.4 | 36.7 | 104 |
| 4833 | 14.5 | 28.7 | 10.2 | 20.2 | 1.418 | 65.7 | 38.0 | 106 |
| 4934 | 14.0 | 27.1 | 9.9 | 19.1 | 1.418 | 67.1 | 39.3 | 108 |



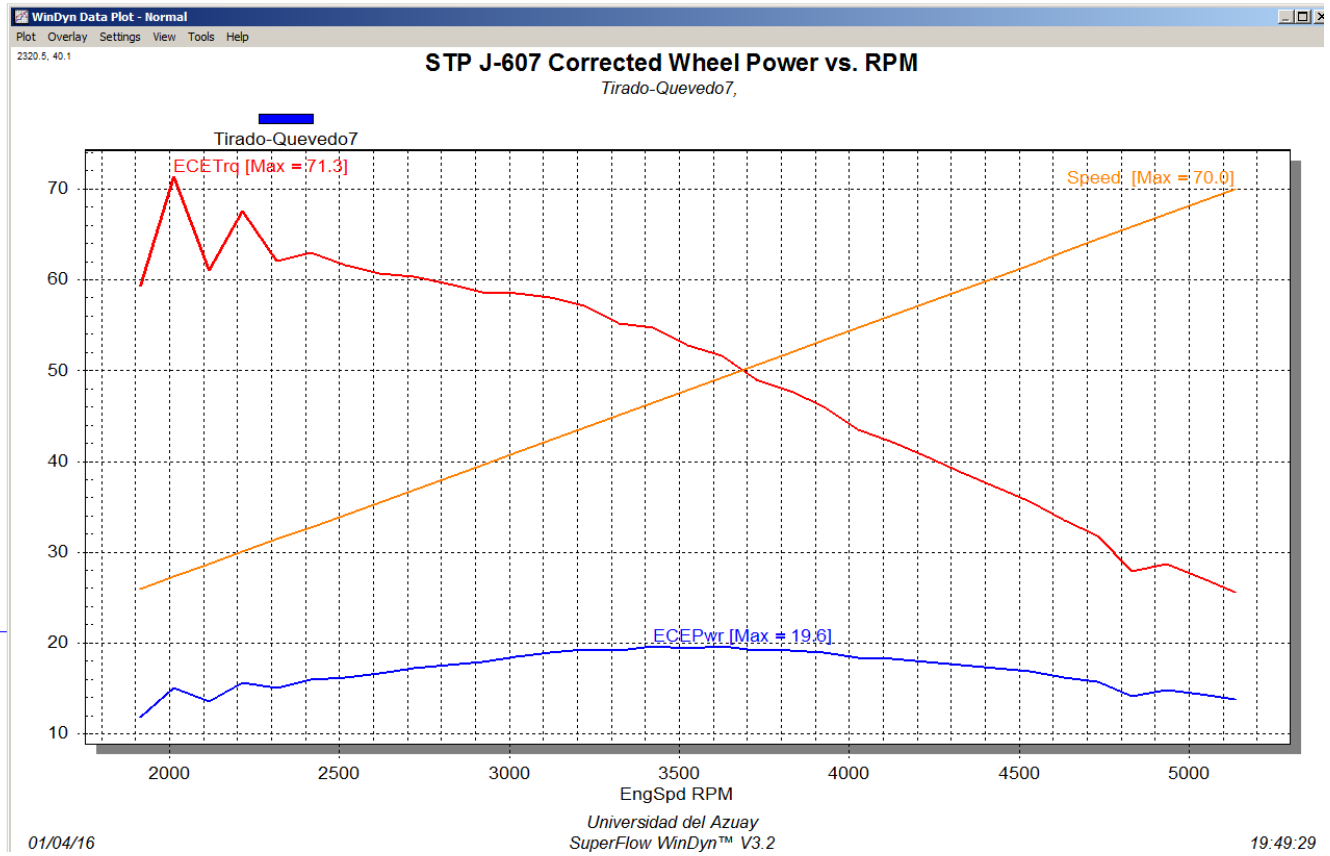
Gráfica 4

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 11.7 | 58.2 | 8.2 | 41.1 | 1.418 | 25.9 | 1.3 | 42 |
| 2014 | 14.6 | 69.3 | 10.3 | 48.9 | 1.418 | 27.3 | 2.2 | 44 |
| 2115 | 8.6 | 39.0 | 6.1 | 27.5 | 1.418 | 28.7 | 3.6 | 46 |
| 2215 | 14.4 | 62.0 | 10.1 | 43.7 | 1.418 | 30.0 | 4.4 | 48 |
| 2316 | 16.9 | 69.5 | 11.9 | 49.0 | 1.418 | 31.5 | 5.6 | 51 |
| 2417 | 15.0 | 59.2 | 10.6 | 41.8 | 1.418 | 32.8 | 6.7 | 53 |
| 2517 | 16.1 | 60.9 | 11.3 | 43.0 | 1.418 | 34.1 | 7.7 | 55 |
| 2618 | 16.1 | 58.7 | 11.3 | 41.4 | 1.418 | 35.5 | 8.9 | 57 |
| 2719 | 16.7 | 58.7 | 11.8 | 41.4 | 1.418 | 36.9 | 9.9 | 59 |
| 2819 | 16.8 | 56.8 | 11.8 | 40.1 | 1.418 | 38.2 | 11.0 | 61 |
| 2920 | 17.9 | 58.4 | 12.6 | 41.2 | 1.418 | 39.6 | 12.1 | 64 |
| 3021 | 18.1 | 57.1 | 12.7 | 40.3 | 1.418 | 41.0 | 13.2 | 66 |
| 3121 | 18.3 | 56.1 | 12.9 | 39.5 | 1.418 | 42.3 | 14.3 | 68 |
| 3222 | 18.8 | 55.8 | 13.3 | 39.4 | 1.418 | 43.7 | 15.4 | 70 |
| 3323 | 18.9 | 54.2 | 13.3 | 38.2 | 1.419 | 45.1 | 16.6 | 73 |
| 3424 | 19.0 | 53.0 | 13.4 | 37.4 | 1.418 | 46.4 | 17.7 | 75 |
| 3524 | 18.8 | 51.0 | 13.3 | 35.9 | 1.418 | 47.8 | 18.8 | 77 |
| 3625 | 18.9 | 49.8 | 13.3 | 35.1 | 1.418 | 49.2 | 19.9 | 79 |
| 3726 | 18.6 | 47.7 | 13.1 | 33.6 | 1.418 | 50.6 | 21.0 | 81 |
| 3826 | 18.4 | 45.8 | 12.9 | 32.3 | 1.418 | 51.9 | 22.1 | 84 |
| 3927 | 18.3 | 44.5 | 12.9 | 31.4 | 1.418 | 53.3 | 23.2 | 86 |
| 4028 | 17.9 | 42.5 | 12.6 | 30.0 | 1.418 | 54.7 | 24.3 | 88 |
| 4128 | 17.5 | 40.4 | 12.3 | 28.5 | 1.418 | 56.1 | 25.5 | 90 |
| 4229 | 17.4 | 39.4 | 12.3 | 27.8 | 1.418 | 57.5 | 26.6 | 93 |
| 4330 | 16.9 | 37.2 | 11.9 | 26.3 | 1.418 | 58.9 | 27.7 | 95 |
| 4430 | 16.3 | 35.0 | 11.5 | 24.7 | 1.418 | 60.2 | 28.8 | 97 |
| 4531 | 15.9 | 33.5 | 11.2 | 23.6 | 1.418 | 61.6 | 30.0 | 99 |
| 4632 | 15.6 | 32.1 | 11.0 | 22.6 | 1.418 | 63.0 | 31.1 | 101 |
| 4733 | 15.2 | 30.7 | 10.7 | 21.6 | 1.418 | 64.4 | 32.2 | 104 |
| 4833 | 14.8 | 29.2 | 10.4 | 20.6 | 1.418 | 65.8 | 33.4 | 106 |
| 4934 | 14.4 | 27.8 | 10.1 | 19.6 | 1.418 | 67.1 | 34.7 | 108 |



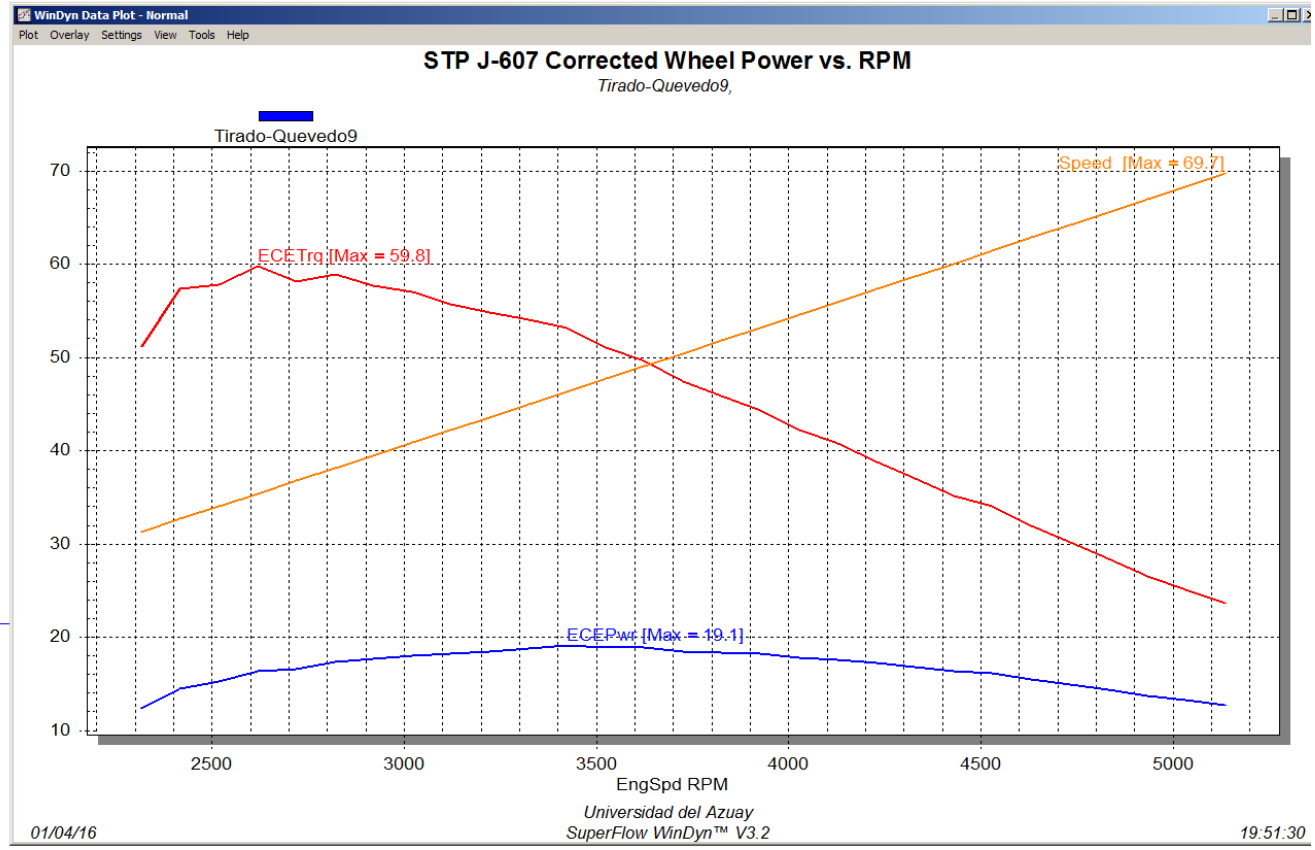
Gráfica 5

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 11.9 | 59.3 | 8.4 | 41.8 | 1.418 | 25.9 | 1.3 | 42 |
| 2014 | 15.0 | 71.3 | 10.6 | 50.3 | 1.418 | 27.3 | 2.1 | 44 |
| 2115 | 13.5 | 61.1 | 9.5 | 43.1 | 1.418 | 28.7 | 3.6 | 46 |
| 2215 | 15.7 | 67.5 | 11.0 | 47.6 | 1.418 | 30.0 | 4.6 | 48 |
| 2316 | 15.0 | 62.1 | 10.6 | 43.8 | 1.418 | 31.4 | 5.9 | 51 |
| 2417 | 15.9 | 63.0 | 11.2 | 44.4 | 1.418 | 32.8 | 7.0 | 53 |
| 2517 | 16.3 | 61.6 | 11.5 | 43.5 | 1.418 | 34.1 | 8.2 | 55 |
| 2618 | 16.6 | 60.6 | 11.7 | 42.8 | 1.418 | 35.5 | 9.4 | 57 |
| 2719 | 17.2 | 60.3 | 12.1 | 42.5 | 1.418 | 36.9 | 10.6 | 59 |
| 2819 | 17.6 | 59.5 | 12.4 | 42.0 | 1.418 | 38.2 | 11.8 | 62 |
| 2920 | 17.9 | 58.6 | 12.6 | 41.3 | 1.418 | 39.6 | 12.9 | 64 |
| 3021 | 18.5 | 58.5 | 13.0 | 41.2 | 1.418 | 41.0 | 14.1 | 66 |
| 3121 | 19.0 | 58.1 | 13.4 | 41.0 | 1.418 | 42.4 | 15.3 | 68 |
| 3222 | 19.3 | 57.1 | 13.6 | 40.3 | 1.418 | 43.7 | 16.5 | 70 |
| 3323 | 19.2 | 55.2 | 13.6 | 39.0 | 1.418 | 45.1 | 17.7 | 73 |
| 3424 | 19.6 | 54.7 | 13.8 | 38.6 | 1.418 | 46.4 | 18.8 | 75 |
| 3524 | 19.5 | 52.8 | 13.7 | 37.2 | 1.418 | 47.8 | 20.0 | 77 |
| 3625 | 19.6 | 51.7 | 13.8 | 36.4 | 1.418 | 49.2 | 21.2 | 79 |
| 3726 | 19.1 | 49.1 | 13.5 | 34.6 | 1.418 | 50.6 | 22.4 | 81 |
| 3826 | 19.1 | 47.8 | 13.5 | 33.7 | 1.418 | 52.0 | 23.6 | 84 |
| 3927 | 18.9 | 46.0 | 13.3 | 32.4 | 1.418 | 53.3 | 24.8 | 86 |
| 4028 | 18.4 | 43.5 | 12.9 | 30.7 | 1.418 | 54.7 | 26.0 | 88 |
| 4128 | 18.2 | 42.1 | 12.8 | 29.7 | 1.418 | 56.1 | 27.2 | 90 |
| 4229 | 17.9 | 40.5 | 12.6 | 28.5 | 1.418 | 57.5 | 28.4 | 93 |
| 4330 | 17.6 | 38.7 | 12.4 | 27.3 | 1.418 | 58.9 | 29.6 | 95 |
| 4430 | 17.3 | 37.2 | 12.2 | 26.3 | 1.418 | 60.3 | 30.7 | 97 |
| 4531 | 16.9 | 35.5 | 11.9 | 25.1 | 1.418 | 61.6 | 31.9 | 99 |
| 4632 | 16.3 | 33.5 | 11.5 | 23.6 | 1.418 | 63.0 | 33.2 | 101 |
| 4733 | 15.8 | 31.8 | 11.1 | 22.4 | 1.418 | 64.4 | 34.3 | 104 |
| 4833 | 14.1 | 27.9 | 10.0 | 19.7 | 1.418 | 65.8 | 35.6 | 106 |
| 4934 | 14.8 | 28.6 | 10.4 | 20.2 | 1.419 | 67.2 | 36.9 | 108 |
| 5035 | 14.3 | 27.2 | 10.1 | 19.2 | 1.419 | 68.6 | 38.1 | 110 |
| 5135 | 13.8 | 25.6 | 9.7 | 18.0 | 1.419 | 70.0 | 39.5 | 113 |



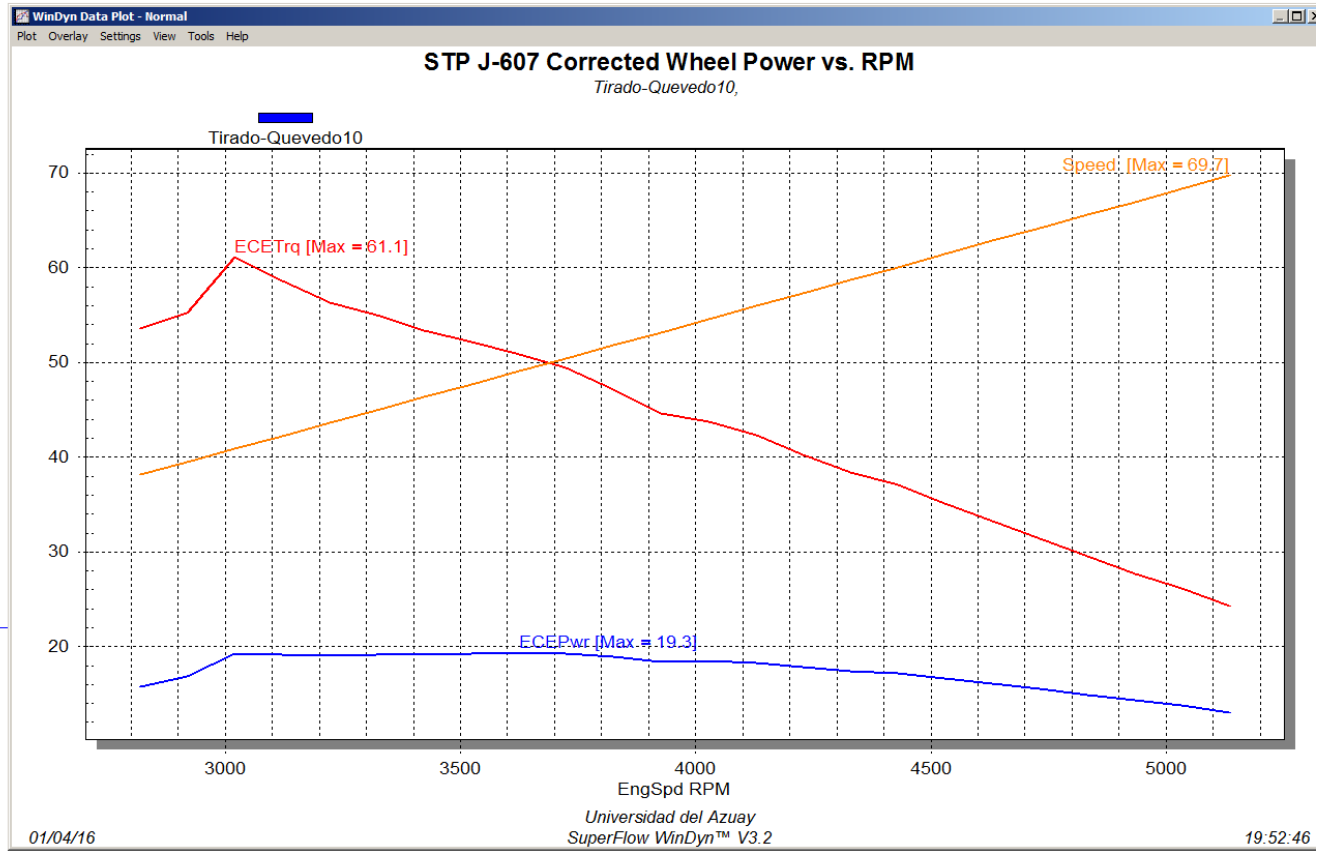
Gráfica 6

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2316 | 12.4 | 51.2 | 8.7 | 36.1 | 1.420 | 31.3 | 1.0 | 50 |
| 2417 | 14.5 | 57.3 | 10.2 | 40.4 | 1.420 | 32.7 | 1.8 | 53 |
| 2517 | 15.2 | 57.8 | 10.7 | 40.7 | 1.420 | 34.0 | 3.3 | 55 |
| 2618 | 16.4 | 59.8 | 11.5 | 42.1 | 1.420 | 35.4 | 4.4 | 57 |
| 2719 | 16.5 | 58.1 | 11.7 | 40.9 | 1.420 | 36.8 | 5.9 | 59 |
| 2819 | 17.4 | 58.9 | 12.3 | 41.5 | 1.420 | 38.1 | 7.2 | 61 |
| 2920 | 17.6 | 57.7 | 12.4 | 40.6 | 1.420 | 39.5 | 8.6 | 64 |
| 3021 | 18.0 | 57.0 | 12.7 | 40.1 | 1.420 | 40.8 | 10.0 | 66 |
| 3121 | 18.2 | 55.7 | 12.8 | 39.3 | 1.420 | 42.2 | 11.3 | 68 |
| 3222 | 18.5 | 54.8 | 13.0 | 38.6 | 1.420 | 43.6 | 12.7 | 70 |
| 3323 | 18.8 | 54.0 | 13.2 | 38.1 | 1.420 | 45.0 | 14.0 | 72 |
| 3424 | 19.1 | 53.2 | 13.4 | 37.5 | 1.420 | 46.3 | 15.4 | 75 |
| 3524 | 18.9 | 51.1 | 13.3 | 36.0 | 1.420 | 47.7 | 16.8 | 77 |
| 3625 | 18.8 | 49.6 | 13.3 | 35.0 | 1.420 | 49.0 | 18.1 | 79 |
| 3726 | 18.5 | 47.4 | 13.0 | 33.4 | 1.420 | 50.4 | 19.5 | 81 |
| 3826 | 18.4 | 45.9 | 13.0 | 32.3 | 1.420 | 51.8 | 20.8 | 83 |
| 3927 | 18.2 | 44.3 | 12.8 | 31.2 | 1.420 | 53.2 | 22.2 | 86 |
| 4028 | 17.8 | 42.2 | 12.5 | 29.7 | 1.420 | 54.6 | 23.6 | 88 |
| 4128 | 17.6 | 40.8 | 12.4 | 28.7 | 1.420 | 55.9 | 24.9 | 90 |
| 4229 | 17.2 | 38.8 | 12.1 | 27.4 | 1.420 | 57.3 | 26.3 | 92 |
| 4330 | 16.8 | 37.0 | 11.8 | 26.1 | 1.420 | 58.7 | 27.7 | 94 |
| 4430 | 16.3 | 35.2 | 11.5 | 24.8 | 1.420 | 60.1 | 29.1 | 97 |
| 4531 | 16.1 | 34.0 | 11.4 | 24.0 | 1.420 | 61.4 | 30.4 | 99 |
| 4632 | 15.5 | 32.0 | 10.9 | 22.5 | 1.420 | 62.8 | 31.8 | 101 |
| 4733 | 15.0 | 30.2 | 10.5 | 21.3 | 1.420 | 64.2 | 33.1 | 103 |
| 4833 | 14.4 | 28.4 | 10.1 | 20.0 | 1.420 | 65.6 | 34.6 | 106 |
| 4934 | 13.7 | 26.6 | 9.7 | 18.7 | 1.420 | 67.0 | 35.9 | 108 |
| 5035 | 13.2 | 25.1 | 9.3 | 17.7 | 1.420 | 68.3 | 37.4 | 110 |
| 5135 | 12.7 | 23.6 | 8.9 | 16.6 | 1.420 | 69.7 | 38.9 | 112 |



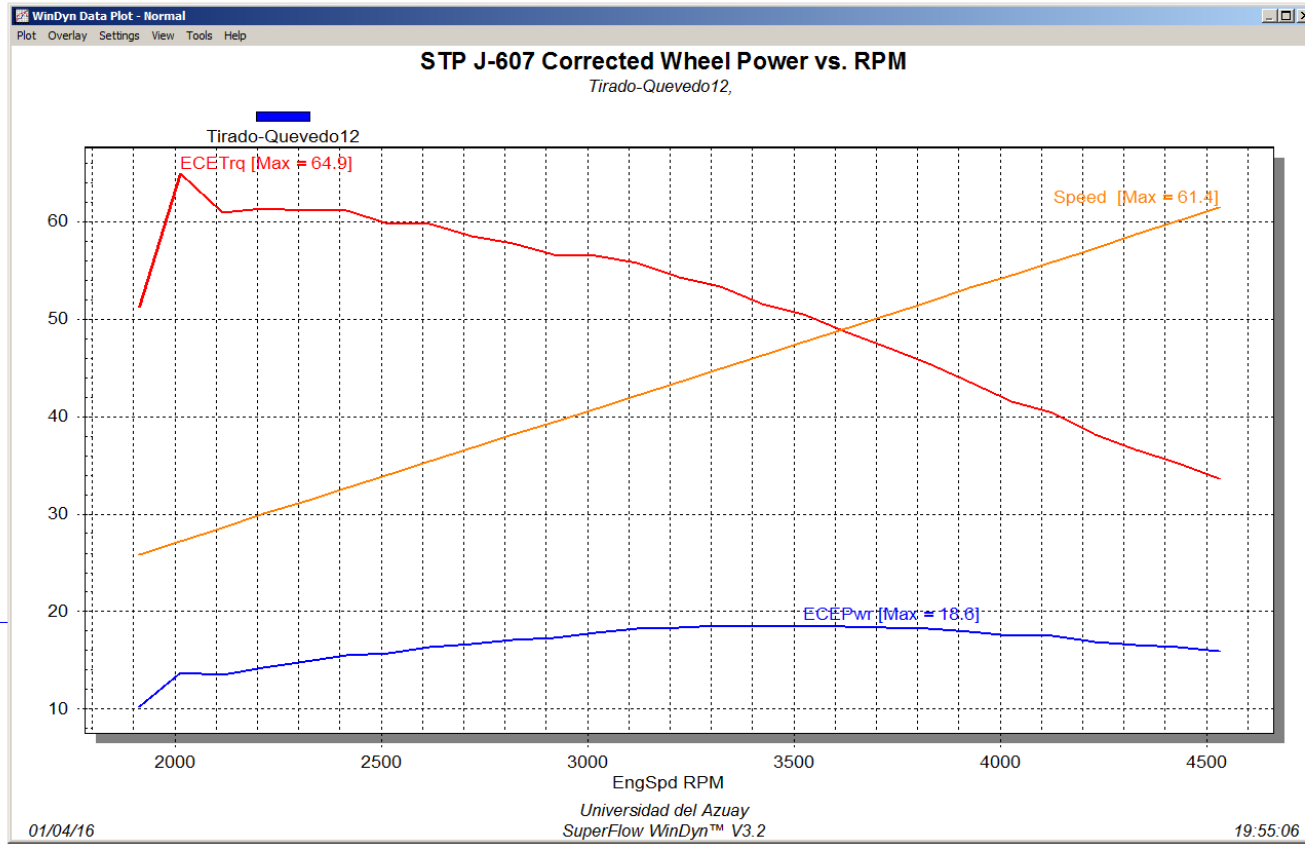
Gráfica 7

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2819 | 15.8 | 53.6 | 11.1 | 37.7 | 1.421 | 38.1 | 1.4 | 61 |
| 2920 | 16.9 | 55.3 | 11.9 | 38.9 | 1.421 | 39.5 | 3.0 | 64 |
| 3021 | 19.3 | 61.1 | 13.6 | 43.0 | 1.421 | 40.9 | 4.4 | 66 |
| 3121 | 19.2 | 58.7 | 13.5 | 41.3 | 1.421 | 42.2 | 6.1 | 68 |
| 3222 | 19.0 | 56.3 | 13.4 | 39.7 | 1.421 | 43.6 | 7.7 | 70 |
| 3323 | 19.1 | 55.0 | 13.5 | 38.7 | 1.421 | 45.0 | 9.3 | 72 |
| 3424 | 19.1 | 53.4 | 13.5 | 37.6 | 1.421 | 46.3 | 10.9 | 75 |
| 3524 | 19.3 | 52.2 | 13.6 | 36.7 | 1.421 | 47.7 | 12.5 | 77 |
| 3625 | 19.3 | 50.9 | 13.6 | 35.8 | 1.421 | 49.1 | 14.1 | 79 |
| 3726 | 19.3 | 49.4 | 13.6 | 34.8 | 1.421 | 50.5 | 15.7 | 81 |
| 3826 | 18.9 | 47.2 | 13.3 | 33.2 | 1.421 | 51.8 | 17.3 | 83 |
| 3927 | 18.4 | 44.7 | 12.9 | 31.4 | 1.421 | 53.2 | 19.0 | 86 |
| 4028 | 18.5 | 43.8 | 13.0 | 30.8 | 1.421 | 54.6 | 20.5 | 88 |
| 4128 | 18.3 | 42.3 | 12.9 | 29.8 | 1.421 | 55.9 | 22.1 | 90 |
| 4229 | 17.8 | 40.3 | 12.5 | 28.3 | 1.421 | 57.3 | 23.8 | 92 |
| 4330 | 17.4 | 38.4 | 12.3 | 27.0 | 1.421 | 58.7 | 25.4 | 94 |
| 4430 | 17.2 | 37.0 | 12.1 | 26.1 | 1.421 | 60.1 | 27.0 | 97 |
| 4531 | 16.7 | 35.1 | 11.7 | 24.7 | 1.421 | 61.4 | 28.6 | 99 |
| 4632 | 16.1 | 33.3 | 11.4 | 23.4 | 1.421 | 62.8 | 30.2 | 101 |
| 4733 | 15.6 | 31.4 | 10.9 | 22.1 | 1.421 | 64.2 | 31.9 | 103 |
| 4833 | 14.9 | 29.5 | 10.5 | 20.8 | 1.421 | 65.6 | 33.5 | 106 |
| 4934 | 14.3 | 27.7 | 10.1 | 19.5 | 1.421 | 67.0 | 35.1 | 108 |
| 5035 | 13.8 | 26.2 | 9.7 | 18.4 | 1.421 | 68.4 | 36.8 | 110 |
| 5135 | 13.1 | 24.3 | 9.2 | 17.1 | 1.421 | 69.7 | 38.4 | 112 |



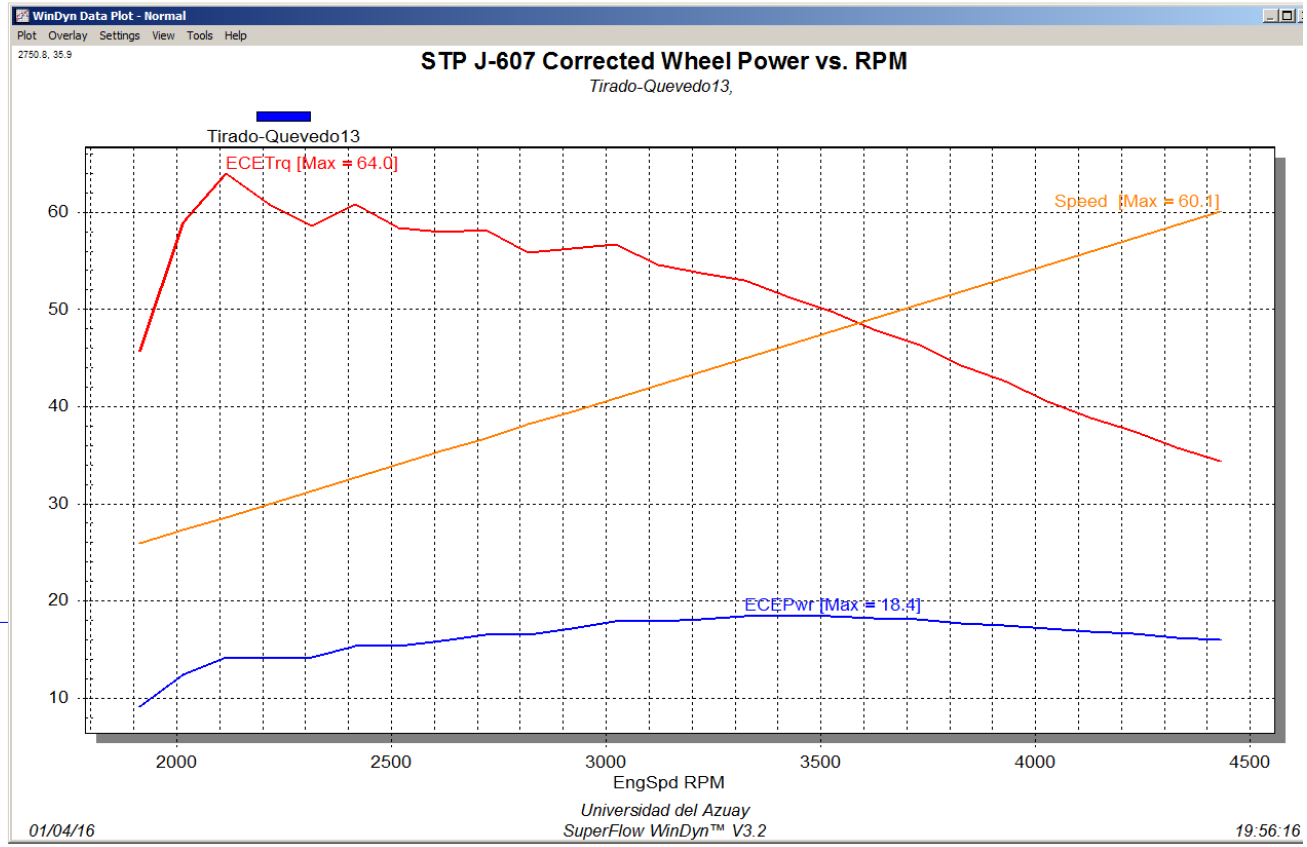
Gráfica 8

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 10.3 | 51.3 | 7.2 | 36.1 | 1.419 | 25.9 | 1.1 | 42 |
| 2014 | 13.7 | 64.9 | 9.6 | 45.8 | 1.419 | 27.2 | 2.0 | 44 |
| 2115 | 13.5 | 61.0 | 9.5 | 43.0 | 1.419 | 28.6 | 3.3 | 46 |
| 2215 | 14.2 | 61.4 | 10.0 | 43.3 | 1.419 | 30.1 | 4.4 | 48 |
| 2316 | 14.8 | 61.2 | 10.5 | 43.1 | 1.419 | 31.3 | 5.4 | 50 |
| 2417 | 15.5 | 61.1 | 10.9 | 43.1 | 1.419 | 32.7 | 6.5 | 53 |
| 2517 | 15.8 | 59.8 | 11.1 | 42.1 | 1.419 | 34.0 | 7.6 | 55 |
| 2618 | 16.4 | 59.8 | 11.6 | 42.2 | 1.419 | 35.4 | 8.7 | 57 |
| 2719 | 16.7 | 58.6 | 11.8 | 41.3 | 1.419 | 36.8 | 9.9 | 59 |
| 2819 | 17.1 | 57.8 | 12.0 | 40.7 | 1.419 | 38.1 | 11.0 | 61 |
| 2920 | 17.3 | 56.6 | 12.2 | 39.9 | 1.419 | 39.5 | 12.1 | 64 |
| 3021 | 17.9 | 56.5 | 12.6 | 39.8 | 1.419 | 40.9 | 13.2 | 66 |
| 3121 | 18.2 | 55.7 | 12.8 | 39.3 | 1.419 | 42.2 | 14.2 | 68 |
| 3222 | 18.3 | 54.3 | 12.9 | 38.3 | 1.419 | 43.6 | 15.4 | 70 |
| 3323 | 18.6 | 53.4 | 13.1 | 37.6 | 1.419 | 45.0 | 16.5 | 72 |
| 3424 | 18.5 | 51.5 | 13.0 | 36.3 | 1.419 | 46.3 | 17.6 | 75 |
| 3524 | 18.6 | 50.5 | 13.1 | 35.6 | 1.419 | 47.7 | 18.7 | 77 |
| 3625 | 18.5 | 48.7 | 13.0 | 34.3 | 1.419 | 49.1 | 19.8 | 79 |
| 3726 | 18.4 | 47.2 | 13.0 | 33.2 | 1.419 | 50.4 | 20.9 | 81 |
| 3826 | 18.2 | 45.5 | 12.9 | 32.1 | 1.419 | 51.8 | 22.0 | 83 |
| 3927 | 17.9 | 43.6 | 12.6 | 30.7 | 1.419 | 53.2 | 23.1 | 86 |
| 4028 | 17.5 | 41.6 | 12.4 | 29.3 | 1.419 | 54.5 | 24.2 | 88 |
| 4128 | 17.5 | 40.4 | 12.3 | 28.5 | 1.419 | 55.9 | 25.3 | 90 |
| 4229 | 16.9 | 38.2 | 11.9 | 26.9 | 1.419 | 57.3 | 26.5 | 92 |
| 4330 | 16.6 | 36.6 | 11.7 | 25.8 | 1.419 | 58.7 | 27.6 | 94 |
| 4430 | 16.3 | 35.2 | 11.5 | 24.8 | 1.419 | 60.1 | 28.7 | 97 |
| 4531 | 16.0 | 33.6 | 11.3 | 23.7 | 1.419 | 61.4 | 29.8 | 99 |



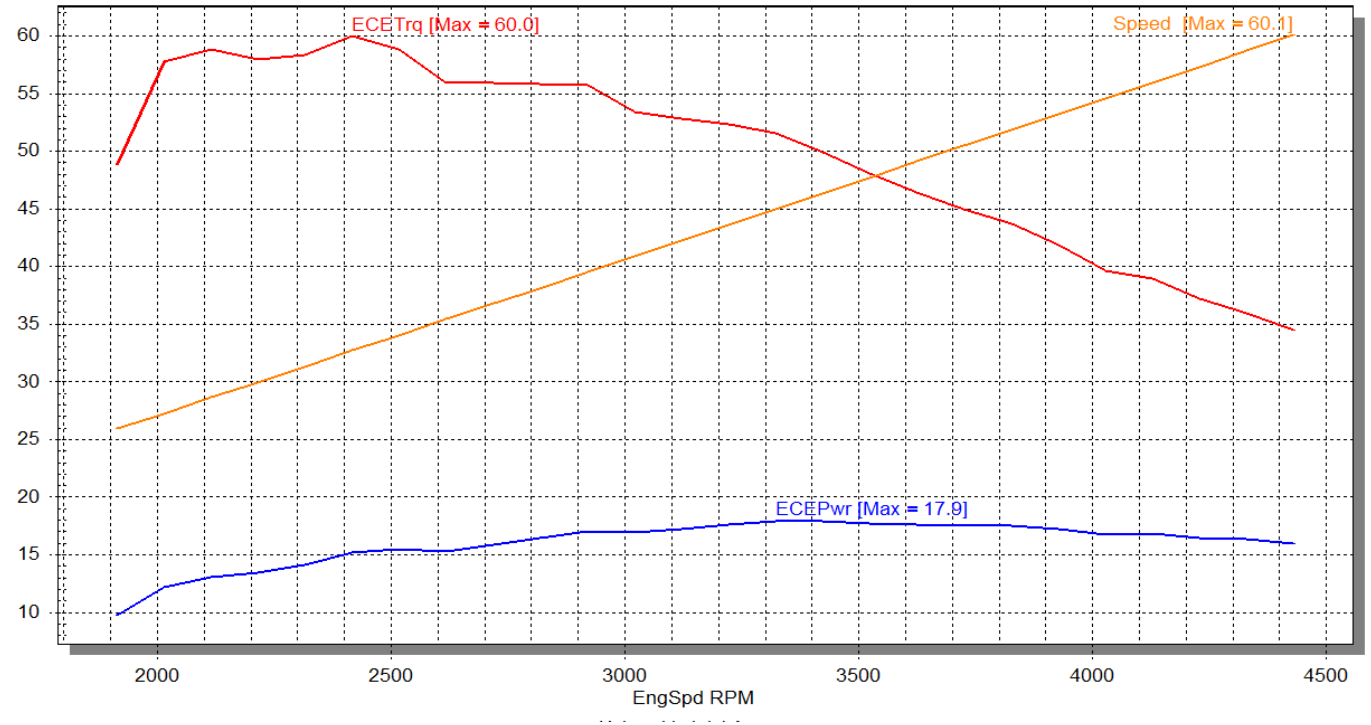
Gráfica 9

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 9.2 | 45.7 | 6.5 | 32.2 | 1.419 | 25.9 | 1.3 | 42 |
| 2014 | 12.4 | 59.0 | 8.8 | 41.5 | 1.419 | 27.3 | 2.0 | 44 |
| 2115 | 14.2 | 64.0 | 10.0 | 45.1 | 1.419 | 28.6 | 2.6 | 46 |
| 2215 | 14.1 | 60.8 | 9.9 | 42.9 | 1.419 | 29.9 | 3.7 | 48 |
| 2316 | 14.2 | 58.6 | 10.0 | 41.3 | 1.419 | 31.3 | 4.6 | 50 |
| 2417 | 15.4 | 60.8 | 10.8 | 42.9 | 1.419 | 32.7 | 5.5 | 53 |
| 2517 | 15.4 | 58.4 | 10.8 | 41.1 | 1.419 | 34.0 | 6.4 | 55 |
| 2618 | 15.9 | 58.0 | 11.2 | 40.9 | 1.419 | 35.4 | 7.3 | 57 |
| 2719 | 16.6 | 58.2 | 11.7 | 41.0 | 1.419 | 36.8 | 8.2 | 59 |
| 2819 | 16.5 | 55.9 | 11.6 | 39.4 | 1.419 | 38.1 | 9.2 | 61 |
| 2920 | 17.2 | 56.2 | 12.1 | 39.6 | 1.419 | 39.5 | 10.1 | 64 |
| 3021 | 17.9 | 56.7 | 12.6 | 40.0 | 1.419 | 40.9 | 11.0 | 66 |
| 3121 | 17.9 | 54.6 | 12.6 | 38.5 | 1.419 | 42.2 | 11.9 | 68 |
| 3222 | 18.1 | 53.8 | 12.8 | 37.9 | 1.419 | 43.6 | 12.8 | 70 |
| 3323 | 18.4 | 53.0 | 13.0 | 37.3 | 1.419 | 45.0 | 13.8 | 72 |
| 3424 | 18.4 | 51.3 | 13.0 | 36.1 | 1.419 | 46.3 | 14.7 | 75 |
| 3524 | 18.4 | 49.9 | 13.0 | 35.1 | 1.419 | 47.7 | 15.6 | 77 |
| 3625 | 18.2 | 47.9 | 12.8 | 33.8 | 1.419 | 49.1 | 16.6 | 79 |
| 3726 | 18.1 | 46.4 | 12.8 | 32.7 | 1.419 | 50.4 | 17.5 | 81 |
| 3826 | 17.7 | 44.2 | 12.5 | 31.2 | 1.419 | 51.8 | 18.4 | 83 |
| 3927 | 17.5 | 42.6 | 12.3 | 30.0 | 1.419 | 53.2 | 19.4 | 86 |
| 4028 | 17.1 | 40.6 | 12.1 | 28.6 | 1.419 | 54.6 | 20.3 | 88 |
| 4128 | 16.8 | 38.9 | 11.8 | 27.4 | 1.419 | 56.0 | 21.2 | 90 |
| 4229 | 16.6 | 37.5 | 11.7 | 26.4 | 1.419 | 57.3 | 22.1 | 92 |
| 4330 | 16.2 | 35.8 | 11.4 | 25.2 | 1.419 | 58.7 | 23.1 | 95 |
| 4430 | 16.0 | 34.4 | 11.3 | 24.3 | 1.419 | 60.1 | 24.1 | 97 |



Gráfica 10

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1913 | 9.8 | 48.9 | 6.9 | 34.5 | 1.419 | 25.9 | 1.5 | 42 |
| 2014 | 12.2 | 57.7 | 8.6 | 40.7 | 1.419 | 27.2 | 2.1 | 44 |
| 2115 | 13.0 | 58.9 | 9.2 | 41.5 | 1.419 | 28.6 | 2.7 | 46 |
| 2215 | 13.5 | 58.0 | 9.5 | 40.9 | 1.419 | 30.0 | 3.2 | 48 |
| 2316 | 14.1 | 58.3 | 10.0 | 41.1 | 1.419 | 31.3 | 3.8 | 50 |
| 2417 | 15.2 | 60.0 | 10.7 | 42.3 | 1.419 | 32.7 | 4.4 | 53 |
| 2517 | 15.5 | 58.8 | 10.9 | 41.5 | 1.419 | 34.0 | 5.2 | 55 |
| 2618 | 15.3 | 55.9 | 10.8 | 39.4 | 1.419 | 35.4 | 6.0 | 57 |
| 2719 | 15.9 | 55.9 | 11.2 | 39.4 | 1.419 | 36.8 | 6.7 | 59 |
| 2819 | 16.5 | 55.8 | 11.6 | 39.4 | 1.419 | 38.1 | 7.4 | 61 |
| 2920 | 17.0 | 55.7 | 12.0 | 39.3 | 1.419 | 39.5 | 8.1 | 64 |
| 3021 | 16.9 | 53.4 | 11.9 | 37.6 | 1.419 | 40.9 | 8.9 | 66 |
| 3121 | 17.3 | 52.8 | 12.2 | 37.2 | 1.419 | 42.2 | 9.6 | 68 |
| 3222 | 17.6 | 52.3 | 12.4 | 36.9 | 1.419 | 43.6 | 10.4 | 70 |
| 3323 | 17.9 | 51.5 | 12.6 | 36.3 | 1.419 | 45.0 | 11.1 | 72 |
| 3424 | 17.9 | 49.9 | 12.6 | 35.1 | 1.419 | 46.3 | 11.8 | 75 |
| 3524 | 17.7 | 48.0 | 12.5 | 33.8 | 1.419 | 47.7 | 12.6 | 77 |
| 3625 | 17.6 | 46.4 | 12.4 | 32.7 | 1.419 | 49.1 | 13.3 | 79 |
| 3726 | 17.6 | 45.0 | 12.4 | 31.7 | 1.419 | 50.5 | 14.1 | 81 |
| 3826 | 17.5 | 43.7 | 12.3 | 30.8 | 1.419 | 51.8 | 14.9 | 83 |
| 3927 | 17.2 | 41.9 | 12.1 | 29.5 | 1.419 | 53.2 | 15.6 | 86 |
| 4028 | 16.7 | 39.6 | 11.8 | 27.9 | 1.419 | 54.6 | 16.5 | 88 |
| 4128 | 16.8 | 38.9 | 11.9 | 27.4 | 1.419 | 55.9 | 17.3 | 90 |
| 4229 | 16.5 | 37.2 | 11.6 | 26.2 | 1.419 | 57.3 | 18.2 | 92 |
| 4330 | 16.3 | 36.0 | 11.5 | 25.4 | 1.419 | 58.7 | 19.1 | 94 |
| 4430 | 16.0 | 34.5 | 11.3 | 24.3 | 1.419 | 60.1 | 20.0 | 97 |

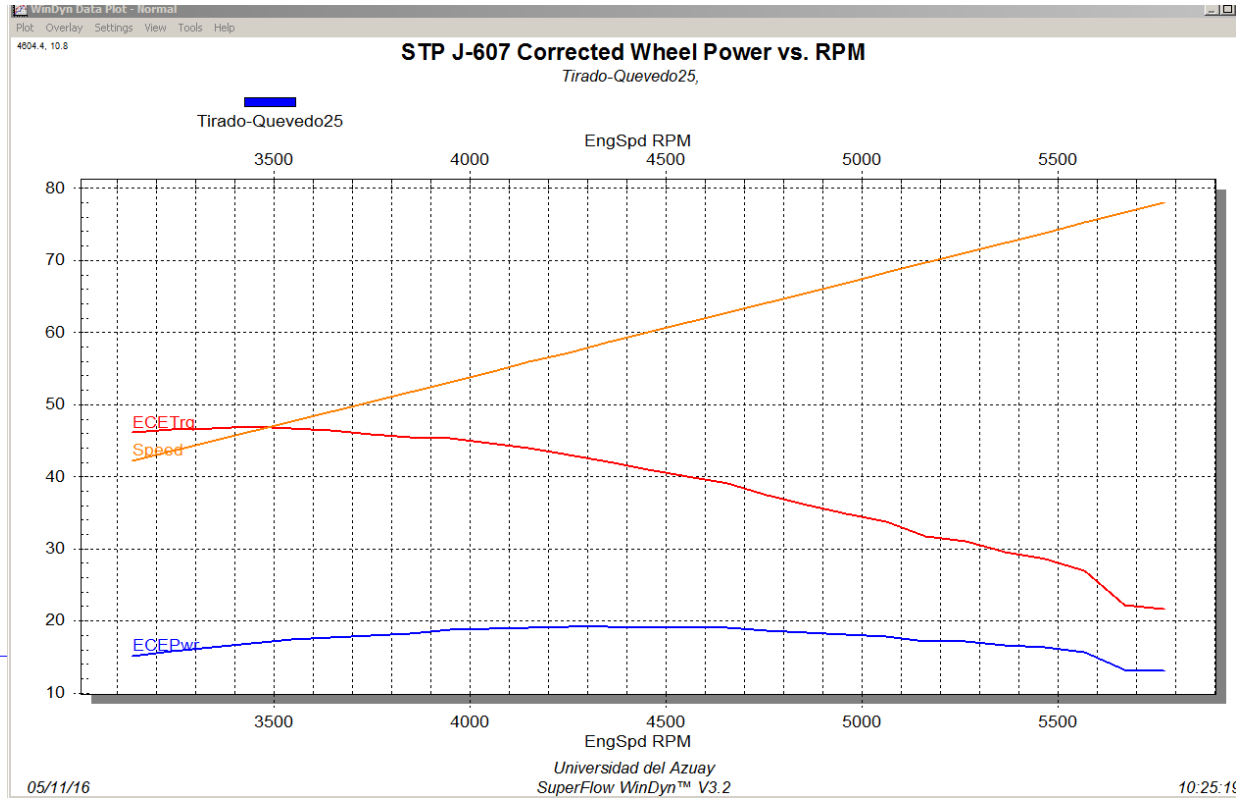



Fuente (Autodyn30, 2016)

Anexo 20.- Banco dinamométrico prueba de engranes rectos

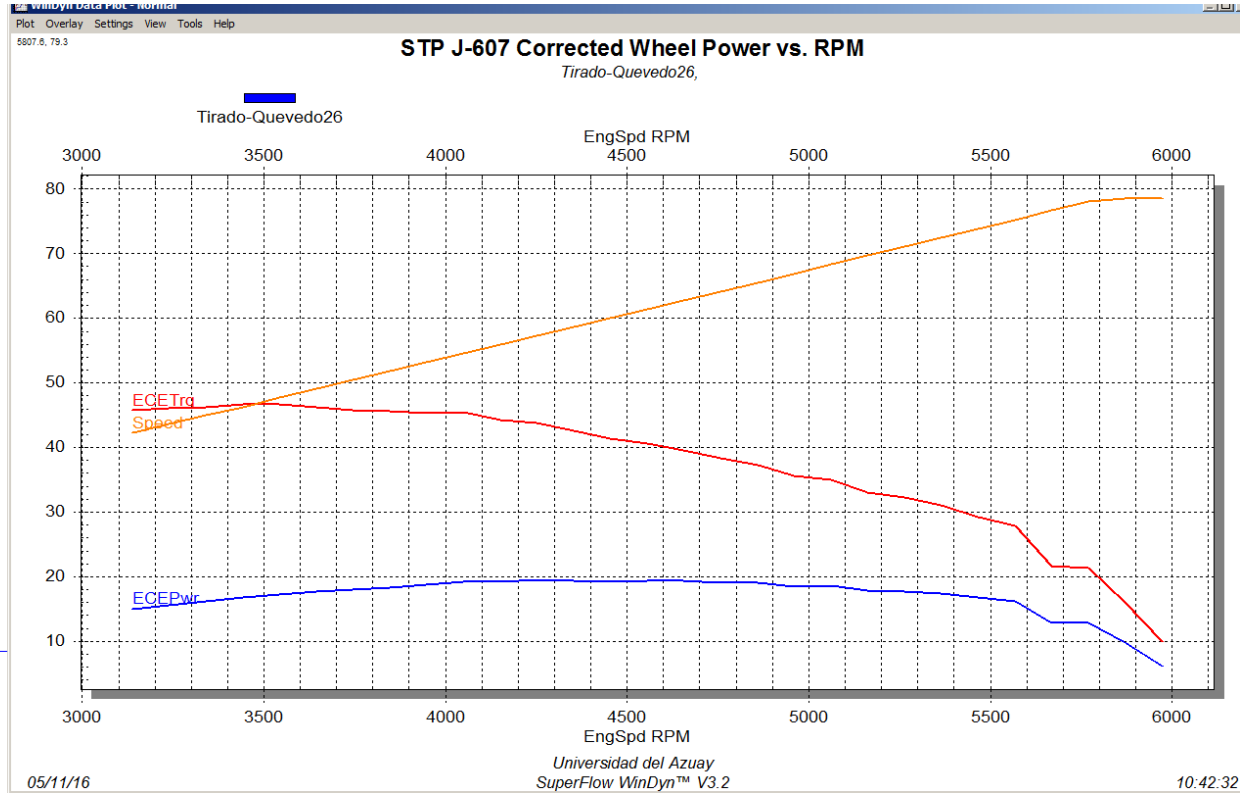
Gráfica 1

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3138 | 15.2 | 46.1 | 10.7 | 32.7 | 1.412 | 42.2 | 0.0 | 68 |
| 3240 | 15.8 | 46.5 | 11.2 | 33.0 | 1.412 | 43.6 | 0.7 | 70 |
| 3341 | 16.4 | 46.8 | 11.6 | 33.1 | 1.412 | 44.9 | 1.5 | 72 |
| 3442 | 16.9 | 46.9 | 12.0 | 33.2 | 1.412 | 46.3 | 2.2 | 75 |
| 3543 | 17.4 | 46.8 | 12.3 | 33.1 | 1.412 | 47.7 | 2.9 | 77 |
| 3645 | 17.7 | 46.4 | 12.5 | 32.9 | 1.412 | 49.0 | 3.7 | 79 |
| 3746 | 18.0 | 45.9 | 12.7 | 32.5 | 1.412 | 50.4 | 4.4 | 81 |
| 3847 | 18.3 | 45.5 | 13.0 | 32.2 | 1.412 | 51.8 | 5.2 | 83 |
| 3948 | 18.7 | 45.3 | 13.3 | 32.1 | 1.412 | 53.2 | 5.9 | 86 |
| 4050 | 18.9 | 44.6 | 13.4 | 31.6 | 1.412 | 54.5 | 6.7 | 88 |
| 4151 | 19.1 | 44.0 | 13.5 | 31.1 | 1.412 | 55.9 | 7.5 | 90 |
| 4252 | 19.2 | 43.0 | 13.6 | 30.5 | 1.412 | 57.3 | 8.3 | 92 |
| 4353 | 19.2 | 42.0 | 13.6 | 29.8 | 1.412 | 58.7 | 9.2 | 94 |
| 4454 | 19.1 | 40.9 | 13.5 | 29.0 | 1.412 | 60.0 | 10.0 | 97 |
| 4556 | 19.1 | 40.0 | 13.5 | 28.3 | 1.412 | 61.4 | 10.9 | 99 |
| 4657 | 19.0 | 39.0 | 13.5 | 27.6 | 1.412 | 62.8 | 11.8 | 101 |
| 4758 | 18.6 | 37.4 | 13.2 | 26.5 | 1.412 | 64.2 | 12.8 | 103 |
| 4859 | 18.4 | 36.1 | 13.0 | 25.6 | 1.412 | 65.5 | 13.7 | 105 |
| 4961 | 18.1 | 34.8 | 12.8 | 24.7 | 1.412 | 66.9 | 14.8 | 108 |
| 5062 | 17.9 | 33.8 | 12.7 | 23.9 | 1.412 | 68.3 | 15.9 | 110 |
| 5163 | 17.1 | 31.7 | 12.1 | 22.4 | 1.412 | 69.7 | 17.0 | 112 |
| 5264 | 17.1 | 31.0 | 12.1 | 22.0 | 1.413 | 71.0 | 18.2 | 114 |
| 5366 | 16.6 | 29.6 | 11.8 | 20.9 | 1.413 | 72.5 | 19.5 | 117 |
| 5467 | 16.4 | 28.7 | 11.6 | 20.3 | 1.413 | 73.8 | 20.8 | 119 |
| 5568 | 15.7 | 26.9 | 11.1 | 19.1 | 1.413 | 75.3 | 22.2 | 121 |
| 5669 | 13.2 | 22.2 | 9.3 | 15.7 | 1.413 | 76.6 | 23.9 | 123 |
| 5771 | 13.1 | 21.7 | 9.3 | 15.4 | 1.413 | 78.1 | 25.9 | 126 |



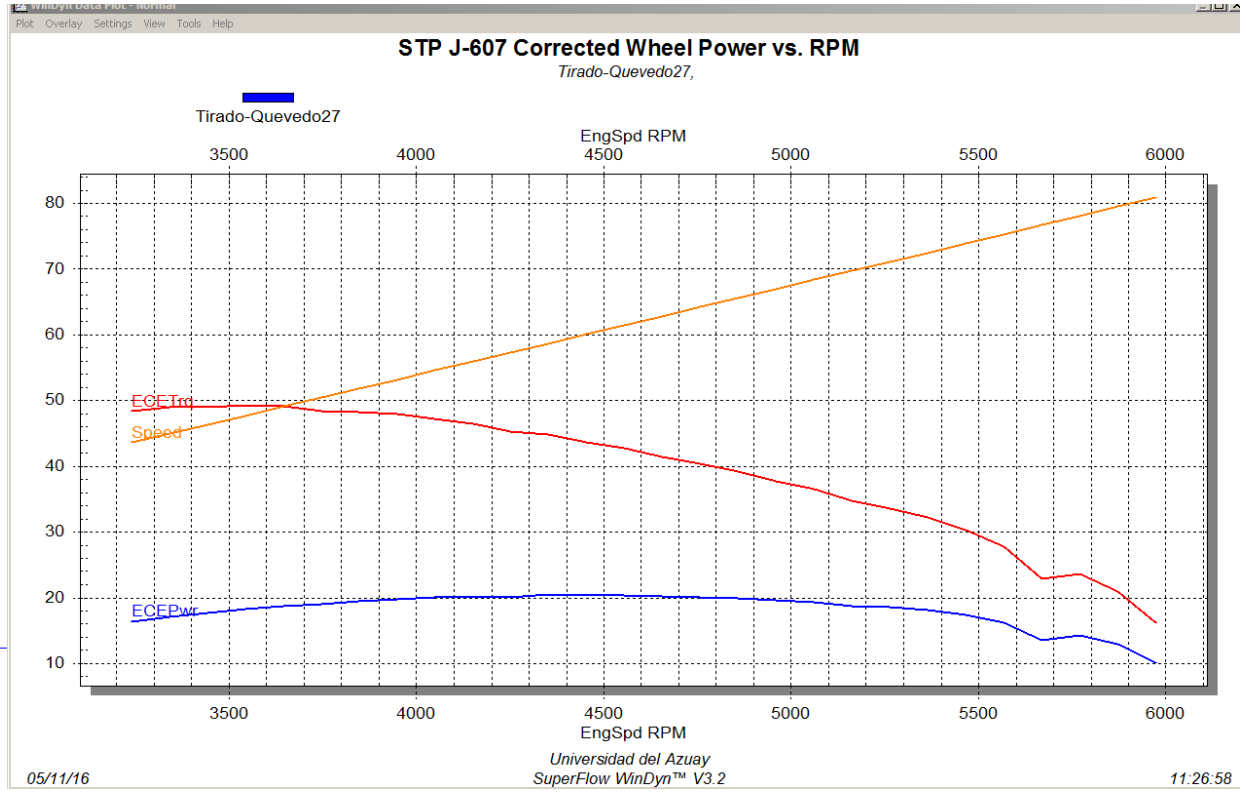
Gráfica 2

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3138 | 15.0 | 45.8 | 10.6 | 32.4 | 1.415 | 42.3 | 0.4 | 68 |
| 3240 | 15.7 | 46.1 | 11.1 | 32.6 | 1.415 | 43.6 | 1.1 | 70 |
| 3341 | 16.2 | 46.3 | 11.4 | 32.7 | 1.415 | 45.0 | 1.8 | 72 |
| 3442 | 16.8 | 46.7 | 11.9 | 33.0 | 1.415 | 46.3 | 2.6 | 75 |
| 3543 | 17.3 | 46.7 | 12.2 | 33.0 | 1.415 | 47.7 | 3.3 | 77 |
| 3645 | 17.7 | 46.3 | 12.5 | 32.7 | 1.415 | 49.0 | 4.1 | 79 |
| 3746 | 18.0 | 45.8 | 12.7 | 32.4 | 1.415 | 50.4 | 4.8 | 81 |
| 3847 | 18.4 | 45.6 | 13.0 | 32.2 | 1.415 | 51.8 | 5.6 | 83 |
| 3948 | 18.7 | 45.3 | 13.2 | 32.0 | 1.415 | 53.2 | 6.3 | 86 |
| 4050 | 19.3 | 45.4 | 13.6 | 32.1 | 1.415 | 54.5 | 7.1 | 88 |
| 4151 | 19.3 | 44.3 | 13.6 | 31.3 | 1.415 | 55.9 | 7.9 | 90 |
| 4252 | 19.5 | 43.9 | 13.8 | 31.0 | 1.415 | 57.3 | 8.7 | 92 |
| 4353 | 19.4 | 42.6 | 13.7 | 30.1 | 1.415 | 58.7 | 9.5 | 94 |
| 4454 | 19.3 | 41.3 | 13.6 | 29.2 | 1.415 | 60.0 | 10.4 | 97 |
| 4556 | 19.4 | 40.6 | 13.7 | 28.7 | 1.415 | 61.4 | 11.3 | 99 |
| 4657 | 19.3 | 39.6 | 13.6 | 28.0 | 1.415 | 62.8 | 12.1 | 101 |
| 4758 | 19.1 | 38.4 | 13.5 | 27.1 | 1.415 | 64.2 | 13.1 | 103 |
| 4859 | 19.0 | 37.3 | 13.4 | 26.4 | 1.415 | 65.6 | 14.1 | 106 |
| 4961 | 18.5 | 35.6 | 13.1 | 25.2 | 1.415 | 66.9 | 15.1 | 108 |
| 5062 | 18.6 | 35.0 | 13.1 | 24.7 | 1.415 | 68.3 | 16.1 | 110 |
| 5163 | 17.9 | 33.0 | 12.6 | 23.3 | 1.415 | 69.7 | 17.2 | 112 |
| 5264 | 17.8 | 32.2 | 12.6 | 22.8 | 1.415 | 71.1 | 18.4 | 114 |
| 5366 | 17.5 | 31.1 | 12.4 | 22.0 | 1.415 | 72.5 | 19.6 | 117 |
| 5467 | 16.8 | 29.3 | 11.8 | 20.7 | 1.415 | 73.9 | 20.9 | 119 |
| 5568 | 16.2 | 27.8 | 11.5 | 19.7 | 1.415 | 75.3 | 22.3 | 121 |
| 5669 | 12.8 | 21.6 | 9.0 | 15.2 | 1.415 | 76.7 | 24.0 | 123 |
| 5771 | 12.9 | 21.4 | 9.1 | 15.1 | 1.415 | 78.1 | 26.0 | 126 |
| 5872 | 9.8 | 16.0 | 7.0 | 11.3 | 1.415 | 78.6 | 26.9 | 126 |
| 5973 | 6.2 | 9.9 | 4.4 | 7.0 | 1.415 | 78.6 | 27.0 | 126 |



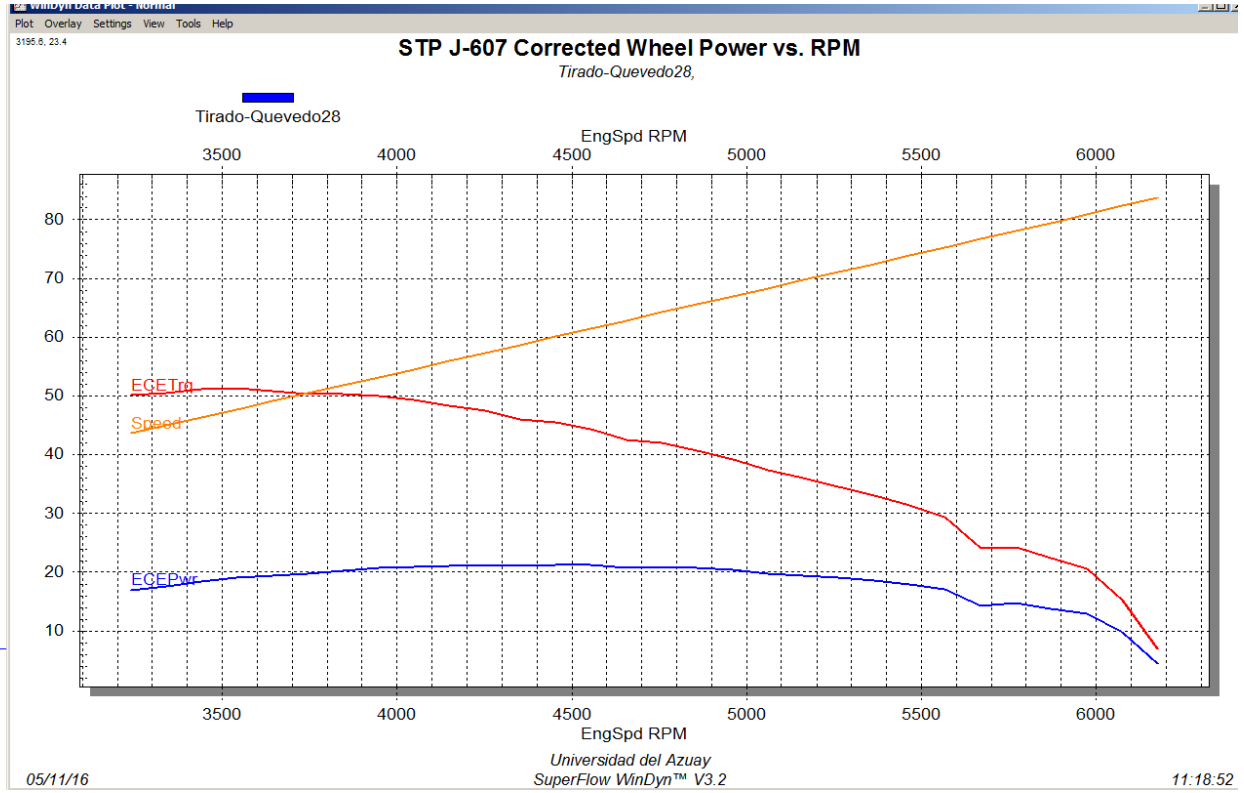
Gráfica 3

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 16.4 | 48.4 | 11.6 | 34.2 | 1.415 | 43.6 | 0.4 | 70 |
| 3341 | 17.2 | 49.0 | 12.1 | 34.6 | 1.415 | 45.0 | 1.1 | 72 |
| 3442 | 17.7 | 49.0 | 12.5 | 34.6 | 1.415 | 46.3 | 1.8 | 75 |
| 3543 | 18.3 | 49.3 | 12.9 | 34.8 | 1.415 | 47.7 | 2.5 | 77 |
| 3645 | 18.8 | 49.2 | 13.3 | 34.8 | 1.415 | 49.1 | 3.2 | 79 |
| 3746 | 19.0 | 48.4 | 13.4 | 34.2 | 1.415 | 50.5 | 3.9 | 81 |
| 3847 | 19.4 | 48.2 | 13.7 | 34.1 | 1.415 | 51.8 | 4.6 | 83 |
| 3948 | 19.8 | 48.0 | 14.0 | 33.9 | 1.415 | 53.2 | 5.4 | 86 |
| 4050 | 20.0 | 47.3 | 14.2 | 33.4 | 1.415 | 54.6 | 6.1 | 88 |
| 4151 | 20.2 | 46.5 | 14.3 | 32.9 | 1.415 | 55.9 | 6.8 | 90 |
| 4252 | 20.1 | 45.2 | 14.2 | 31.9 | 1.415 | 57.3 | 7.6 | 92 |
| 4353 | 20.4 | 44.8 | 14.4 | 31.7 | 1.415 | 58.7 | 8.4 | 94 |
| 4454 | 20.4 | 43.6 | 14.4 | 30.8 | 1.415 | 60.1 | 9.2 | 97 |
| 4556 | 20.4 | 42.7 | 14.4 | 30.2 | 1.415 | 61.4 | 10.0 | 99 |
| 4657 | 20.2 | 41.4 | 14.3 | 29.3 | 1.415 | 62.8 | 10.9 | 101 |
| 4758 | 20.1 | 40.4 | 14.2 | 28.5 | 1.415 | 64.2 | 11.8 | 103 |
| 4859 | 19.9 | 39.2 | 14.1 | 27.7 | 1.415 | 65.6 | 12.7 | 106 |
| 4961 | 19.6 | 37.8 | 13.9 | 26.7 | 1.415 | 67.0 | 13.6 | 108 |
| 5062 | 19.4 | 36.5 | 13.7 | 25.8 | 1.415 | 68.3 | 14.6 | 110 |
| 5163 | 18.8 | 34.7 | 13.3 | 24.5 | 1.415 | 69.7 | 15.7 | 112 |
| 5264 | 18.5 | 33.6 | 13.1 | 23.8 | 1.415 | 71.1 | 16.8 | 114 |
| 5366 | 18.1 | 32.2 | 12.8 | 22.8 | 1.415 | 72.5 | 17.9 | 117 |
| 5467 | 17.4 | 30.4 | 12.3 | 21.4 | 1.416 | 73.9 | 19.2 | 119 |
| 5568 | 16.2 | 27.8 | 11.5 | 19.6 | 1.416 | 75.3 | 20.5 | 121 |
| 5669 | 13.6 | 22.9 | 9.6 | 16.2 | 1.416 | 76.7 | 22.1 | 123 |
| 5771 | 14.3 | 23.6 | 10.1 | 16.7 | 1.416 | 78.1 | 23.9 | 126 |
| 5872 | 12.9 | 21.0 | 9.1 | 14.8 | 1.417 | 79.5 | 25.8 | 128 |
| 5973 | 10.2 | 16.3 | 7.2 | 11.5 | 1.417 | 80.9 | 28.3 | 130 |



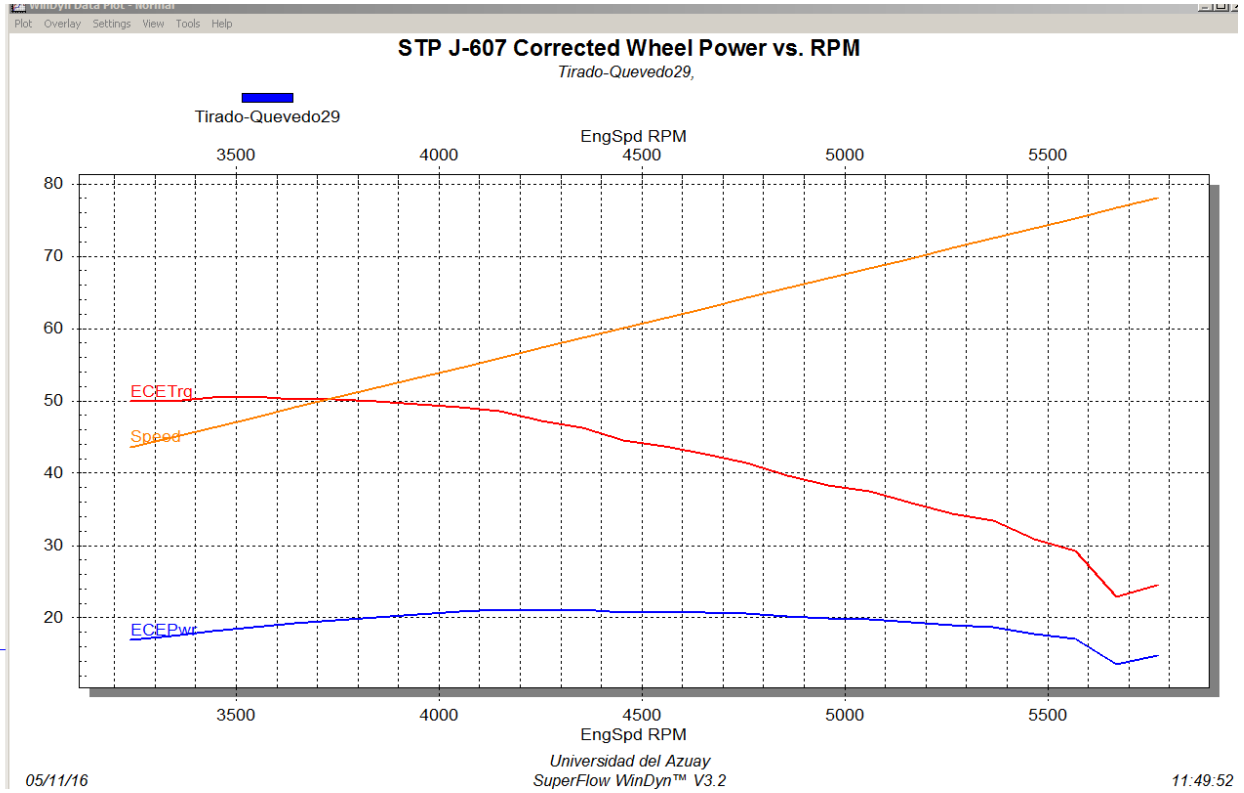
Gráfica 4

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 17.0 | 50.1 | 12.0 | 35.4 | 1.417 | 43.6 | 0.5 | 70 |
| 3341 | 17.7 | 50.5 | 12.5 | 35.6 | 1.417 | 45.0 | 1.1 | 72 |
| 3442 | 18.4 | 51.2 | 13.0 | 36.1 | 1.417 | 46.4 | 1.8 | 75 |
| 3543 | 19.1 | 51.4 | 13.5 | 36.3 | 1.417 | 47.7 | 2.5 | 77 |
| 3645 | 19.4 | 50.9 | 13.7 | 35.9 | 1.417 | 49.1 | 3.2 | 79 |
| 3746 | 19.8 | 50.4 | 14.0 | 35.6 | 1.417 | 50.4 | 3.8 | 81 |
| 3847 | 20.3 | 50.3 | 14.3 | 35.5 | 1.417 | 51.8 | 4.5 | 83 |
| 3948 | 20.7 | 50.0 | 14.6 | 35.3 | 1.417 | 53.2 | 5.2 | 86 |
| 4050 | 20.9 | 49.3 | 14.8 | 34.8 | 1.417 | 54.6 | 5.9 | 88 |
| 4151 | 21.0 | 48.4 | 14.9 | 34.2 | 1.417 | 56.0 | 6.6 | 90 |
| 4252 | 21.2 | 47.5 | 14.9 | 33.5 | 1.417 | 57.3 | 7.4 | 92 |
| 4353 | 21.0 | 46.1 | 14.8 | 32.5 | 1.417 | 58.7 | 8.1 | 94 |
| 4454 | 21.2 | 45.5 | 15.0 | 32.1 | 1.417 | 60.1 | 8.9 | 97 |
| 4556 | 21.2 | 44.4 | 15.0 | 31.4 | 1.417 | 61.5 | 9.7 | 99 |
| 4657 | 20.7 | 42.5 | 14.6 | 30.0 | 1.417 | 62.8 | 10.5 | 101 |
| 4758 | 20.9 | 42.0 | 14.8 | 29.6 | 1.417 | 64.2 | 11.4 | 103 |
| 4859 | 20.7 | 40.8 | 14.6 | 28.8 | 1.417 | 65.6 | 12.3 | 106 |
| 4961 | 20.4 | 39.2 | 14.4 | 27.7 | 1.417 | 67.0 | 13.2 | 108 |
| 5062 | 19.8 | 37.4 | 14.0 | 26.4 | 1.417 | 68.4 | 14.1 | 110 |
| 5163 | 19.5 | 36.0 | 13.7 | 25.4 | 1.417 | 69.8 | 15.1 | 112 |
| 5264 | 19.0 | 34.5 | 13.4 | 24.4 | 1.417 | 71.1 | 16.2 | 114 |
| 5366 | 18.6 | 33.1 | 13.1 | 23.4 | 1.417 | 72.5 | 17.3 | 117 |
| 5467 | 18.0 | 31.5 | 12.7 | 22.2 | 1.417 | 73.9 | 18.5 | 119 |
| 5568 | 17.2 | 29.4 | 12.1 | 20.8 | 1.417 | 75.3 | 19.8 | 121 |
| 5669 | 14.3 | 24.1 | 10.1 | 17.0 | 1.417 | 76.7 | 21.4 | 124 |
| 5771 | 14.7 | 24.3 | 10.4 | 17.2 | 1.417 | 78.1 | 23.1 | 126 |
| 5872 | 13.8 | 22.4 | 9.7 | 15.8 | 1.417 | 79.5 | 24.9 | 128 |
| 5973 | 12.9 | 20.6 | 9.1 | 14.5 | 1.417 | 80.9 | 26.9 | 130 |
| 6074 | 9.7 | 15.2 | 6.8 | 10.8 | 1.417 | 82.4 | 29.5 | 133 |
| 6176 | 4.5 | 7.0 | 3.2 | 4.9 | 1.418 | 83.8 | 34.8 | 135 |



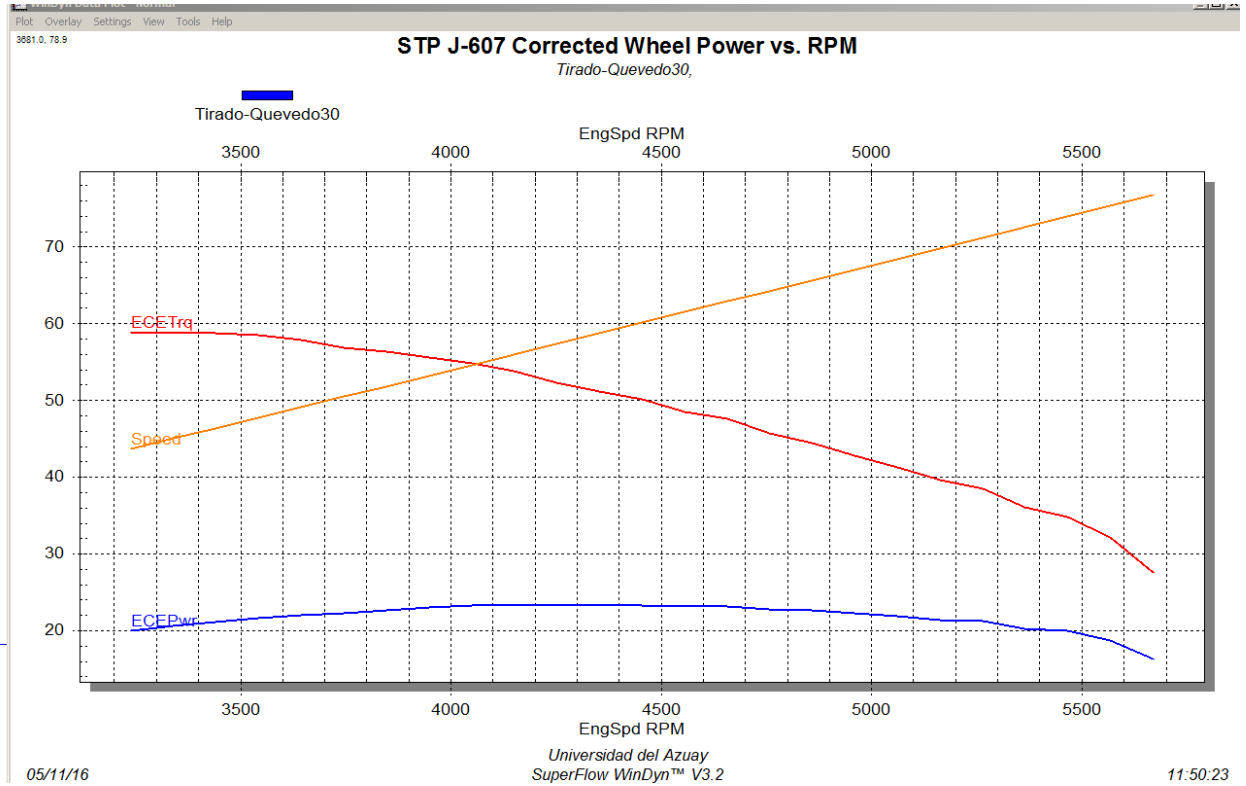
Gráfica 5

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 16.9 | 49.9 | 12.0 | 35.2 | 1.416 | 43.6 | 0.6 | 70 |
| 3341 | 17.5 | 49.9 | 12.3 | 35.3 | 1.416 | 45.0 | 1.3 | 72 |
| 3442 | 18.2 | 50.5 | 12.9 | 35.7 | 1.416 | 46.3 | 1.9 | 75 |
| 3543 | 18.8 | 50.6 | 13.3 | 35.7 | 1.416 | 47.7 | 2.6 | 77 |
| 3645 | 19.2 | 50.3 | 13.5 | 35.5 | 1.416 | 49.1 | 3.3 | 79 |
| 3746 | 19.7 | 50.1 | 13.9 | 35.4 | 1.416 | 50.4 | 4.0 | 81 |
| 3847 | 20.1 | 49.9 | 14.2 | 35.2 | 1.416 | 51.8 | 4.7 | 83 |
| 3948 | 20.5 | 49.5 | 14.5 | 35.0 | 1.416 | 53.2 | 5.4 | 86 |
| 4050 | 20.8 | 49.1 | 14.7 | 34.7 | 1.416 | 54.6 | 6.1 | 88 |
| 4151 | 21.1 | 48.6 | 14.9 | 34.3 | 1.416 | 55.9 | 6.8 | 90 |
| 4252 | 21.0 | 47.3 | 14.9 | 33.4 | 1.416 | 57.3 | 7.5 | 92 |
| 4353 | 21.1 | 46.2 | 14.9 | 32.7 | 1.416 | 58.7 | 8.3 | 94 |
| 4454 | 20.8 | 44.5 | 14.7 | 31.5 | 1.416 | 60.1 | 9.1 | 97 |
| 4556 | 20.9 | 43.8 | 14.7 | 30.9 | 1.416 | 61.4 | 9.9 | 99 |
| 4657 | 20.8 | 42.6 | 14.7 | 30.1 | 1.416 | 62.8 | 10.7 | 101 |
| 4758 | 20.6 | 41.4 | 14.6 | 29.2 | 1.416 | 64.2 | 11.6 | 103 |
| 4859 | 20.2 | 39.7 | 14.3 | 28.0 | 1.416 | 65.6 | 12.4 | 106 |
| 4961 | 19.9 | 38.3 | 14.0 | 27.0 | 1.416 | 66.9 | 13.4 | 108 |
| 5062 | 19.8 | 37.4 | 14.0 | 26.4 | 1.416 | 68.3 | 14.3 | 110 |
| 5163 | 19.4 | 35.8 | 13.7 | 25.3 | 1.416 | 69.7 | 15.4 | 112 |
| 5264 | 18.9 | 34.4 | 13.4 | 24.3 | 1.416 | 71.1 | 16.5 | 114 |
| 5366 | 18.8 | 33.4 | 13.3 | 23.6 | 1.416 | 72.5 | 17.5 | 117 |
| 5467 | 17.7 | 30.9 | 12.5 | 21.8 | 1.416 | 73.9 | 18.7 | 119 |
| 5568 | 17.1 | 29.3 | 12.1 | 20.7 | 1.416 | 75.3 | 20.0 | 121 |
| 5669 | 13.6 | 22.9 | 9.6 | 16.2 | 1.416 | 76.7 | 21.7 | 123 |
| 5771 | 14.8 | 24.6 | 10.5 | 17.3 | 1.416 | 78.1 | 23.5 | 126 |



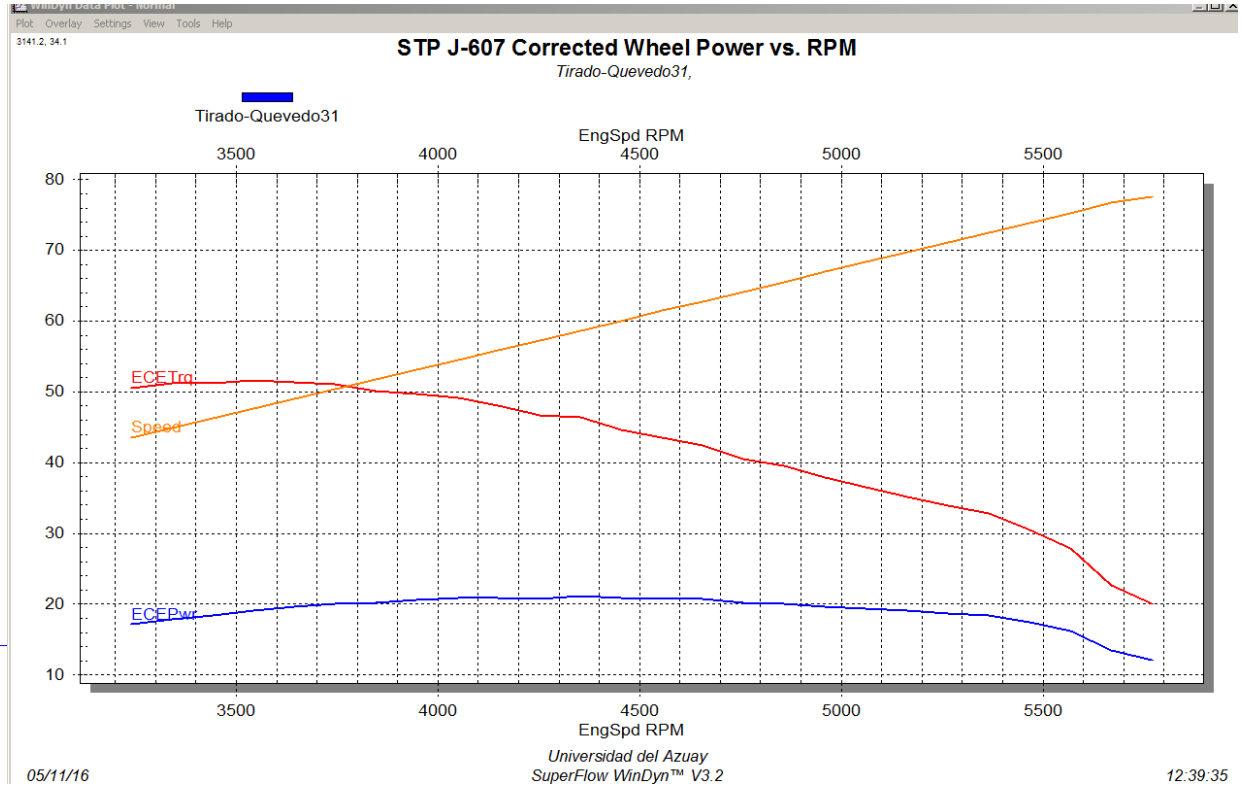
Gráfica 6

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 20.0 | 58.9 | 14.1 | 41.5 | 1.418 | 43.7 | 0.0 | 70 |
| 3341 | 20.6 | 58.8 | 14.5 | 41.5 | 1.418 | 45.0 | 0.6 | 72 |
| 3442 | 21.2 | 58.7 | 14.9 | 41.4 | 1.418 | 46.4 | 1.2 | 75 |
| 3543 | 21.7 | 58.5 | 15.3 | 41.3 | 1.418 | 47.8 | 1.7 | 77 |
| 3645 | 22.1 | 57.9 | 15.6 | 40.8 | 1.418 | 49.1 | 2.3 | 79 |
| 3746 | 22.3 | 56.8 | 15.7 | 40.1 | 1.418 | 50.5 | 2.9 | 81 |
| 3847 | 22.7 | 56.4 | 16.0 | 39.8 | 1.418 | 51.9 | 3.5 | 83 |
| 3948 | 23.0 | 55.6 | 16.2 | 39.2 | 1.418 | 53.2 | 4.2 | 86 |
| 4050 | 23.2 | 54.8 | 16.4 | 38.7 | 1.418 | 54.6 | 4.8 | 88 |
| 4151 | 23.4 | 53.9 | 16.5 | 38.0 | 1.418 | 56.0 | 5.4 | 90 |
| 4252 | 23.3 | 52.4 | 16.4 | 36.9 | 1.418 | 57.4 | 6.1 | 92 |
| 4353 | 23.3 | 51.1 | 16.4 | 36.1 | 1.418 | 58.7 | 6.7 | 95 |
| 4454 | 23.4 | 50.1 | 16.5 | 35.3 | 1.418 | 60.1 | 7.4 | 97 |
| 4556 | 23.2 | 48.5 | 16.3 | 34.2 | 1.418 | 61.5 | 8.2 | 99 |
| 4657 | 23.2 | 47.6 | 16.4 | 33.5 | 1.418 | 62.9 | 8.9 | 101 |
| 4758 | 22.8 | 45.7 | 16.1 | 32.2 | 1.418 | 64.3 | 9.7 | 103 |
| 4859 | 22.6 | 44.5 | 16.0 | 31.4 | 1.418 | 65.6 | 10.4 | 106 |
| 4961 | 22.2 | 42.8 | 15.7 | 30.2 | 1.418 | 67.0 | 11.3 | 108 |
| 5062 | 21.9 | 41.3 | 15.4 | 29.1 | 1.418 | 68.4 | 12.1 | 110 |
| 5163 | 21.5 | 39.7 | 15.1 | 28.0 | 1.418 | 69.8 | 13.0 | 112 |
| 5264 | 21.2 | 38.5 | 15.0 | 27.1 | 1.418 | 71.2 | 14.0 | 115 |
| 5366 | 20.3 | 36.1 | 14.3 | 25.5 | 1.418 | 72.6 | 15.0 | 117 |
| 5467 | 19.9 | 34.8 | 14.1 | 24.6 | 1.418 | 74.0 | 16.0 | 119 |
| 5568 | 18.7 | 32.1 | 13.2 | 22.7 | 1.418 | 75.4 | 17.2 | 121 |
| 5669 | 16.4 | 27.6 | 11.5 | 19.4 | 1.418 | 76.8 | 18.5 | 124 |



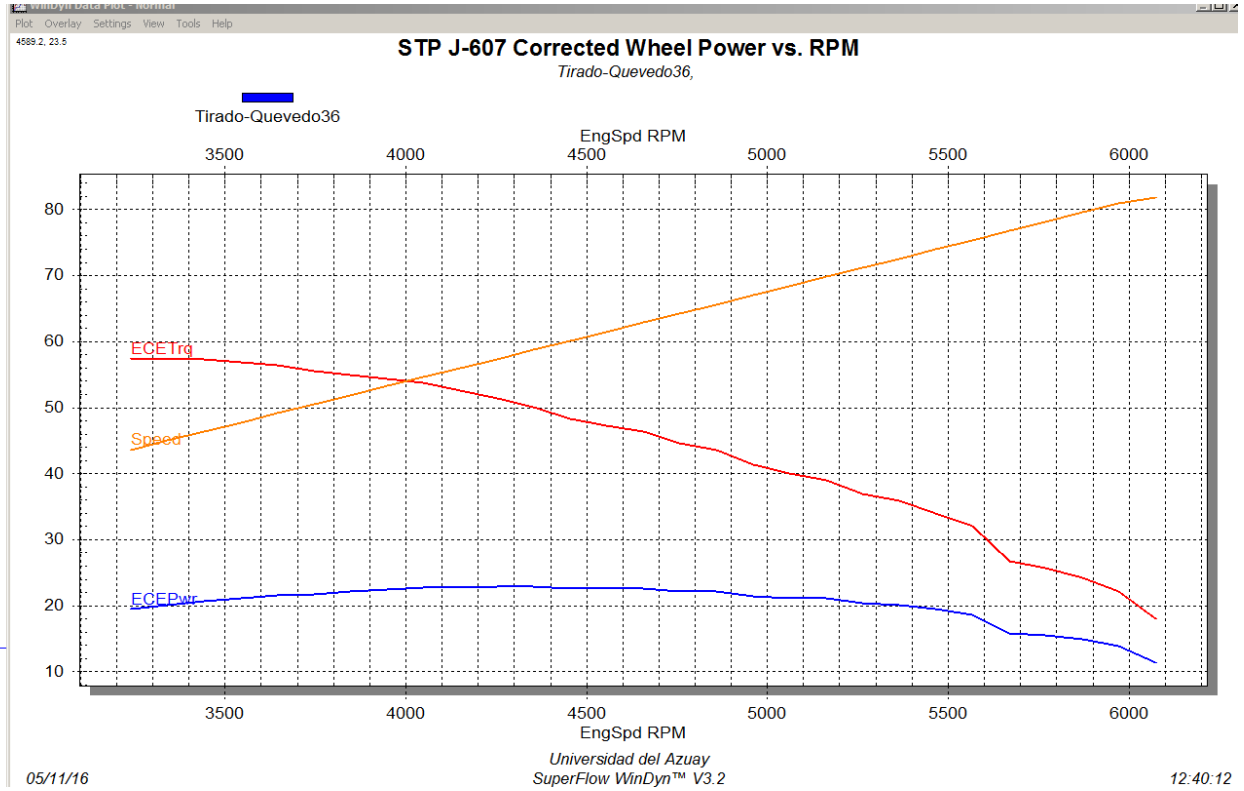
Gráfica 7

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 17.2 | 50.6 | 12.1 | 35.7 | 1.419 | 43.6 | 0.5 | 70 |
| 3341 | 17.9 | 51.2 | 12.6 | 36.1 | 1.419 | 45.0 | 1.2 | 72 |
| 3442 | 18.5 | 51.2 | 13.0 | 36.1 | 1.419 | 46.3 | 1.9 | 75 |
| 3543 | 19.1 | 51.6 | 13.5 | 36.4 | 1.419 | 47.7 | 2.5 | 77 |
| 3645 | 19.6 | 51.4 | 13.8 | 36.2 | 1.419 | 49.1 | 3.2 | 79 |
| 3746 | 20.0 | 51.0 | 14.1 | 35.9 | 1.419 | 50.4 | 3.9 | 81 |
| 3847 | 20.2 | 50.1 | 14.2 | 35.3 | 1.419 | 51.8 | 4.6 | 83 |
| 3948 | 20.5 | 49.7 | 14.5 | 35.0 | 1.419 | 53.2 | 5.3 | 86 |
| 4050 | 20.8 | 49.1 | 14.7 | 34.6 | 1.419 | 54.6 | 6.0 | 88 |
| 4151 | 20.9 | 48.1 | 14.7 | 33.9 | 1.419 | 55.9 | 6.7 | 90 |
| 4252 | 20.8 | 46.7 | 14.6 | 32.9 | 1.419 | 57.3 | 7.4 | 92 |
| 4353 | 21.2 | 46.4 | 14.9 | 32.7 | 1.419 | 58.6 | 8.2 | 94 |
| 4454 | 20.8 | 44.7 | 14.7 | 31.5 | 1.419 | 60.0 | 9.0 | 97 |
| 4556 | 20.8 | 43.6 | 14.6 | 30.7 | 1.419 | 61.4 | 9.8 | 99 |
| 4657 | 20.7 | 42.5 | 14.6 | 29.9 | 1.419 | 62.8 | 10.6 | 101 |
| 4758 | 20.2 | 40.4 | 14.2 | 28.5 | 1.419 | 64.2 | 11.5 | 103 |
| 4859 | 20.1 | 39.5 | 14.2 | 27.8 | 1.419 | 65.6 | 12.4 | 106 |
| 4961 | 19.7 | 37.9 | 13.9 | 26.7 | 1.419 | 67.0 | 13.4 | 108 |
| 5062 | 19.4 | 36.5 | 13.6 | 25.7 | 1.419 | 68.3 | 14.4 | 110 |
| 5163 | 19.0 | 35.2 | 13.4 | 24.8 | 1.419 | 69.7 | 15.4 | 112 |
| 5264 | 18.7 | 34.0 | 13.2 | 23.9 | 1.419 | 71.1 | 16.5 | 114 |
| 5366 | 18.4 | 32.8 | 13.0 | 23.1 | 1.419 | 72.5 | 17.6 | 117 |
| 5467 | 17.5 | 30.5 | 12.3 | 21.5 | 1.419 | 73.9 | 18.9 | 119 |
| 5568 | 16.2 | 27.8 | 11.4 | 19.6 | 1.419 | 75.3 | 20.3 | 121 |
| 5669 | 13.5 | 22.7 | 9.5 | 16.0 | 1.419 | 76.7 | 22.0 | 123 |
| 5771 | 12.1 | 20.1 | 8.5 | 14.1 | 1.419 | 77.6 | 23.3 | 125 |



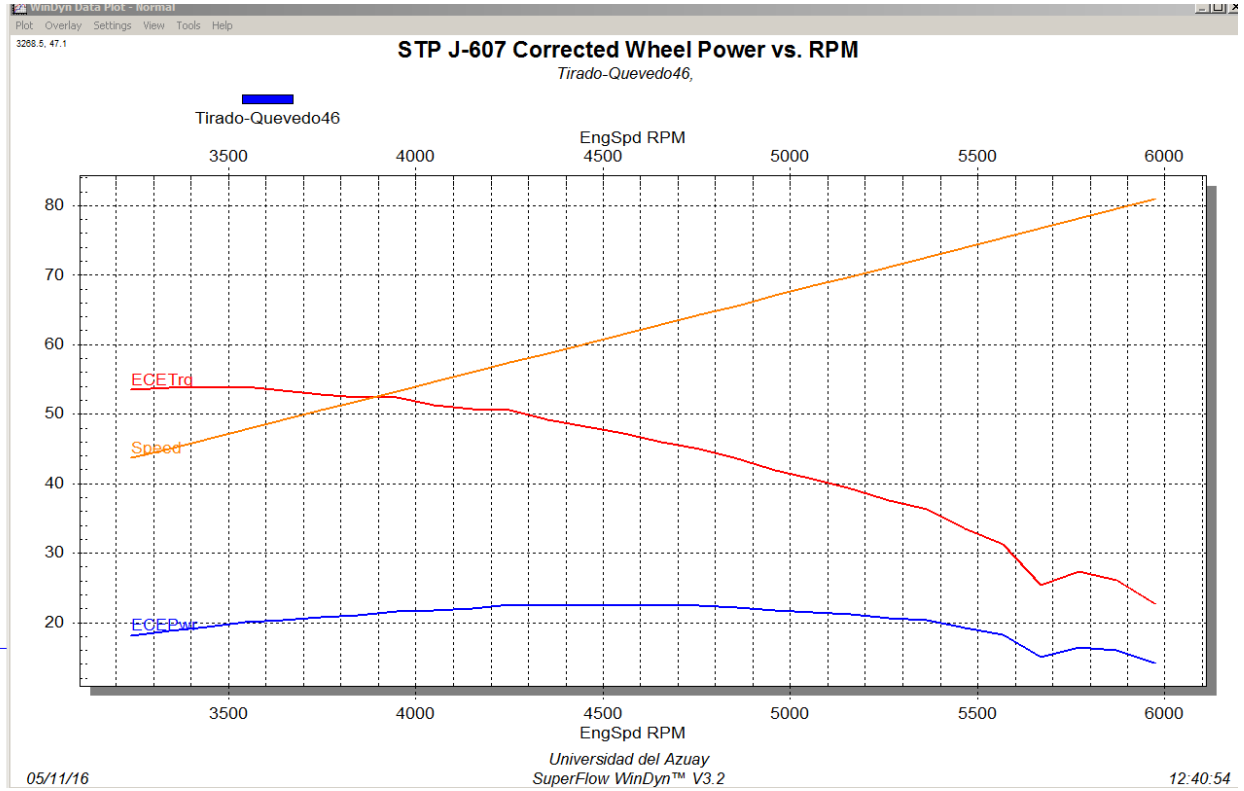
Gráfica 8

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 19.5 | 57.5 | 13.7 | 40.5 | 1.419 | 43.6 | 0.1 | 70 |
| 3341 | 20.0 | 57.3 | 14.1 | 40.4 | 1.419 | 45.0 | 0.7 | 72 |
| 3442 | 20.6 | 57.2 | 14.5 | 40.3 | 1.420 | 46.4 | 1.3 | 75 |
| 3543 | 21.1 | 56.9 | 14.9 | 40.1 | 1.420 | 47.8 | 1.9 | 77 |
| 3645 | 21.5 | 56.4 | 15.2 | 39.7 | 1.420 | 49.1 | 2.5 | 79 |
| 3746 | 21.8 | 55.5 | 15.3 | 39.1 | 1.420 | 50.5 | 3.1 | 81 |
| 3847 | 22.1 | 54.9 | 15.6 | 38.7 | 1.420 | 51.9 | 3.8 | 83 |
| 3948 | 22.5 | 54.4 | 15.8 | 38.3 | 1.420 | 53.2 | 4.4 | 86 |
| 4050 | 22.8 | 53.8 | 16.1 | 37.9 | 1.420 | 54.6 | 5.0 | 88 |
| 4151 | 22.8 | 52.5 | 16.1 | 37.0 | 1.420 | 56.0 | 5.7 | 90 |
| 4252 | 22.9 | 51.4 | 16.1 | 36.2 | 1.420 | 57.4 | 6.4 | 92 |
| 4353 | 22.9 | 50.1 | 16.1 | 35.3 | 1.420 | 58.7 | 7.1 | 95 |
| 4454 | 22.6 | 48.4 | 15.9 | 34.1 | 1.420 | 60.1 | 7.8 | 97 |
| 4556 | 22.6 | 47.3 | 15.9 | 33.3 | 1.420 | 61.5 | 8.5 | 99 |
| 4657 | 22.6 | 46.4 | 15.9 | 32.7 | 1.419 | 62.9 | 9.3 | 101 |
| 4758 | 22.2 | 44.6 | 15.6 | 31.4 | 1.419 | 64.3 | 10.1 | 103 |
| 4859 | 22.2 | 43.6 | 15.6 | 30.7 | 1.419 | 65.6 | 10.9 | 106 |
| 4961 | 21.5 | 41.4 | 15.1 | 29.1 | 1.419 | 67.0 | 11.8 | 108 |
| 5062 | 21.2 | 40.0 | 14.9 | 28.2 | 1.419 | 68.5 | 12.7 | 110 |
| 5163 | 21.1 | 39.1 | 14.9 | 27.5 | 1.419 | 69.8 | 13.6 | 112 |
| 5264 | 20.4 | 36.9 | 14.3 | 26.0 | 1.420 | 71.2 | 14.6 | 115 |
| 5366 | 20.2 | 35.9 | 14.2 | 25.3 | 1.420 | 72.6 | 15.6 | 117 |
| 5467 | 19.5 | 34.0 | 13.7 | 23.9 | 1.420 | 74.0 | 16.7 | 119 |
| 5568 | 18.7 | 32.1 | 13.2 | 22.6 | 1.420 | 75.3 | 17.9 | 121 |
| 5669 | 15.9 | 26.8 | 11.2 | 18.8 | 1.420 | 76.8 | 19.3 | 124 |
| 5771 | 15.5 | 25.7 | 10.9 | 18.1 | 1.420 | 78.2 | 20.9 | 126 |
| 5872 | 14.9 | 24.2 | 10.5 | 17.0 | 1.420 | 79.6 | 22.6 | 128 |
| 5973 | 13.8 | 22.1 | 9.7 | 15.6 | 1.421 | 81.0 | 24.4 | 130 |
| 6074 | 11.4 | 18.0 | 8.0 | 12.7 | 1.421 | 81.9 | 25.8 | 132 |



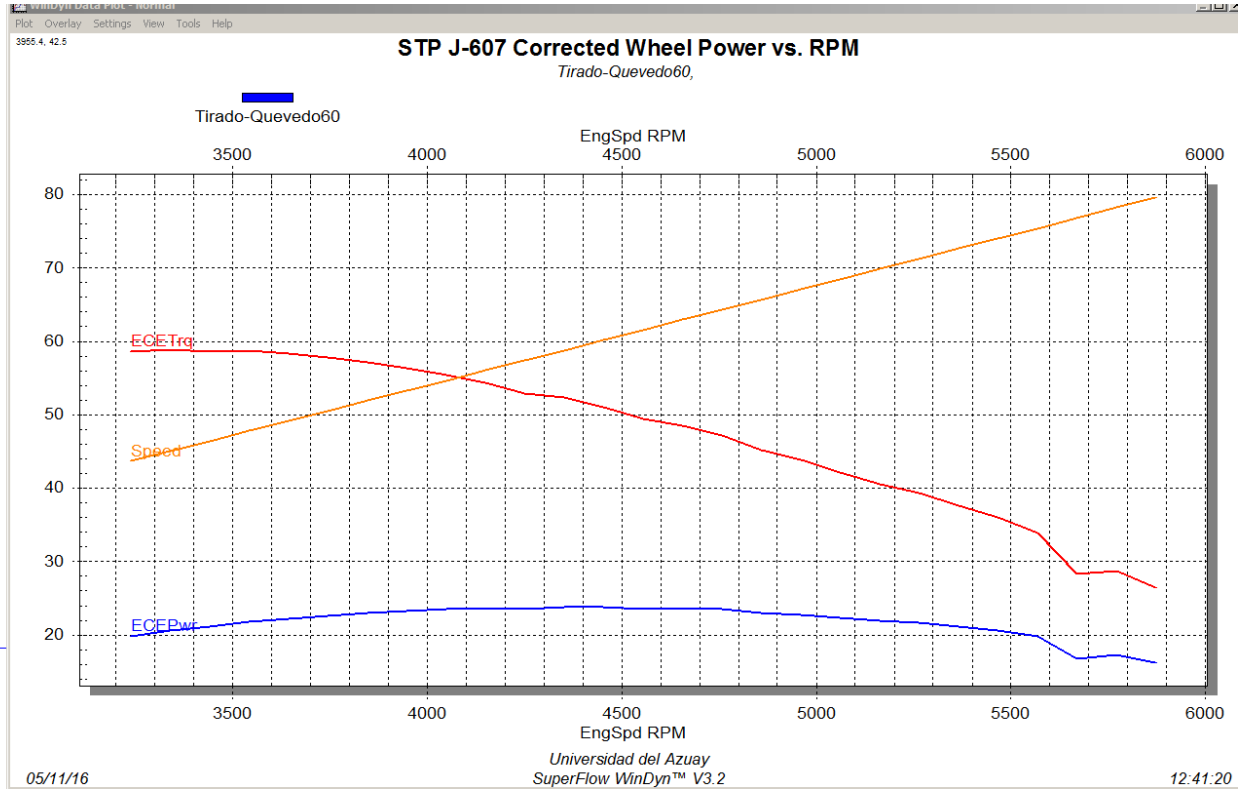
Gráfica 9

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 18.1 | 53.5 | 12.8 | 37.7 | 1.419 | 43.7 | 0.4 | 70 |
| 3341 | 18.8 | 53.7 | 13.2 | 37.9 | 1.419 | 45.0 | 1.1 | 72 |
| 3442 | 19.4 | 53.8 | 13.7 | 37.9 | 1.419 | 46.4 | 1.7 | 75 |
| 3543 | 20.0 | 53.9 | 14.1 | 38.0 | 1.419 | 47.8 | 2.3 | 77 |
| 3645 | 20.4 | 53.4 | 14.4 | 37.6 | 1.419 | 49.2 | 3.0 | 79 |
| 3746 | 20.7 | 52.8 | 14.6 | 37.2 | 1.419 | 50.5 | 3.6 | 81 |
| 3847 | 21.1 | 52.4 | 14.9 | 36.9 | 1.419 | 51.9 | 4.3 | 84 |
| 3948 | 21.7 | 52.4 | 15.3 | 36.9 | 1.419 | 53.2 | 4.9 | 86 |
| 4050 | 21.8 | 51.4 | 15.3 | 36.2 | 1.419 | 54.6 | 5.6 | 88 |
| 4151 | 22.0 | 50.7 | 15.5 | 35.7 | 1.419 | 56.0 | 6.3 | 90 |
| 4252 | 22.5 | 50.6 | 15.9 | 35.7 | 1.419 | 57.4 | 7.0 | 92 |
| 4353 | 22.4 | 49.2 | 15.8 | 34.7 | 1.419 | 58.8 | 7.7 | 95 |
| 4454 | 22.5 | 48.3 | 15.9 | 34.0 | 1.419 | 60.1 | 8.5 | 97 |
| 4556 | 22.5 | 47.2 | 15.9 | 33.3 | 1.419 | 61.5 | 9.2 | 99 |
| 4657 | 22.4 | 45.9 | 15.8 | 32.4 | 1.419 | 62.9 | 9.9 | 101 |
| 4758 | 22.4 | 45.0 | 15.8 | 31.7 | 1.419 | 64.3 | 10.7 | 103 |
| 4859 | 22.2 | 43.6 | 15.6 | 30.7 | 1.419 | 65.6 | 11.5 | 106 |
| 4961 | 21.8 | 41.9 | 15.3 | 29.5 | 1.419 | 67.0 | 12.4 | 108 |
| 5062 | 21.5 | 40.6 | 15.2 | 28.6 | 1.419 | 68.4 | 13.3 | 110 |
| 5163 | 21.2 | 39.2 | 15.0 | 27.7 | 1.419 | 69.8 | 14.2 | 112 |
| 5264 | 20.7 | 37.5 | 14.6 | 26.4 | 1.419 | 71.2 | 15.2 | 115 |
| 5366 | 20.4 | 36.3 | 14.4 | 25.6 | 1.419 | 72.6 | 16.2 | 117 |
| 5467 | 19.2 | 33.6 | 13.5 | 23.7 | 1.419 | 74.0 | 17.3 | 119 |
| 5568 | 18.2 | 31.3 | 12.9 | 22.1 | 1.419 | 75.4 | 18.5 | 121 |
| 5669 | 15.1 | 25.4 | 10.6 | 17.9 | 1.419 | 76.8 | 20.0 | 124 |
| 5771 | 16.5 | 27.3 | 11.6 | 19.2 | 1.419 | 78.2 | 21.5 | 126 |
| 5872 | 16.1 | 26.1 | 11.3 | 18.4 | 1.419 | 79.6 | 23.1 | 128 |
| 5973 | 14.2 | 22.8 | 10.0 | 16.0 | 1.419 | 81.0 | 24.8 | 130 |



Gráfica 10

| EngSpd RPM | ECEPwr CKw | ECETrq CNm | WhlPwM Kw | WhlTrq Nm | ECECor Factor | Speed mph | ElpsTm Secnds | SpeedM kph |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3240 | 19.9 | 58.6 | 14.0 | 41.3 | 1.419 | 43.7 | 0.1 | 70 |
| 3341 | 20.6 | 58.8 | 14.5 | 41.5 | 1.419 | 45.0 | 0.6 | 72 |
| 3442 | 21.1 | 58.6 | 14.9 | 41.3 | 1.419 | 46.4 | 1.2 | 75 |
| 3543 | 21.8 | 58.7 | 15.4 | 41.4 | 1.419 | 47.8 | 1.8 | 77 |
| 3645 | 22.3 | 58.4 | 15.7 | 41.1 | 1.419 | 49.1 | 2.4 | 79 |
| 3746 | 22.7 | 57.8 | 16.0 | 40.7 | 1.419 | 50.5 | 3.0 | 81 |
| 3847 | 23.0 | 57.2 | 16.2 | 40.3 | 1.420 | 51.9 | 3.6 | 84 |
| 3948 | 23.3 | 56.4 | 16.4 | 39.7 | 1.419 | 53.3 | 4.2 | 86 |
| 4050 | 23.5 | 55.4 | 16.6 | 39.0 | 1.419 | 54.7 | 4.8 | 88 |
| 4151 | 23.6 | 54.4 | 16.7 | 38.3 | 1.419 | 56.0 | 5.4 | 90 |
| 4252 | 23.6 | 52.9 | 16.6 | 37.3 | 1.419 | 57.4 | 6.1 | 92 |
| 4353 | 23.9 | 52.3 | 16.8 | 36.9 | 1.419 | 58.8 | 6.7 | 95 |
| 4454 | 23.8 | 51.1 | 16.8 | 36.0 | 1.420 | 60.2 | 7.4 | 97 |
| 4556 | 23.6 | 49.4 | 16.6 | 34.8 | 1.420 | 61.5 | 8.1 | 99 |
| 4657 | 23.6 | 48.5 | 16.7 | 34.1 | 1.420 | 62.9 | 8.9 | 101 |
| 4758 | 23.5 | 47.1 | 16.5 | 33.2 | 1.420 | 64.3 | 9.6 | 104 |
| 4859 | 23.0 | 45.2 | 16.2 | 31.8 | 1.420 | 65.7 | 10.4 | 106 |
| 4961 | 22.8 | 43.8 | 16.0 | 30.9 | 1.420 | 67.1 | 11.2 | 108 |
| 5062 | 22.4 | 42.2 | 15.7 | 29.7 | 1.420 | 68.5 | 12.1 | 110 |
| 5163 | 21.9 | 40.5 | 15.4 | 28.5 | 1.420 | 69.8 | 12.9 | 112 |
| 5264 | 21.7 | 39.4 | 15.3 | 27.7 | 1.420 | 71.3 | 13.9 | 115 |
| 5366 | 21.2 | 37.7 | 14.9 | 26.5 | 1.420 | 72.7 | 14.8 | 117 |
| 5467 | 20.6 | 36.0 | 14.5 | 25.4 | 1.420 | 74.0 | 15.9 | 119 |
| 5568 | 19.8 | 33.9 | 13.9 | 23.9 | 1.420 | 75.4 | 17.0 | 121 |
| 5669 | 16.8 | 28.4 | 11.9 | 20.0 | 1.420 | 76.8 | 18.3 | 124 |
| 5771 | 17.4 | 28.7 | 12.2 | 20.2 | 1.420 | 78.2 | 19.7 | 126 |
| 5872 | 16.3 | 26.5 | 11.5 | 18.6 | 1.420 | 79.6 | 21.2 | 128 |




Fuente: (Autodyn30, 2016)

Anexo 21.- Norma SAEJ1491

| SAE International | SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE | J1491 | REI. JUL2006 |
|---|---|---|---|
| | | Issued 1985-06<br>Reissued 2006-07 | |
| | | Superseding J1491 OCT2002 | |

(R) Vehicle Acceleration Measurement

RATIONALE

SAE J1491 Acceleration and Launch Performance is being updated to:

- reflect current practice,
- add standard test conditions, and
- clarify measurement parameters.

1. SCOPE

To define a test procedure that will provide a repeatable measure of a vehicle's launch response and maximum accelleration performance.

1.1 Purpose

This SAE Recommended Practice provides a standardized means of measuring launch response and acceleration performance of passenger cars and light-duty trucks.

2. REFERENCES

There are no referenced publications specified herein.

3. DEFINITIONS

3.1 Time Zero

The time used in the calculation for Launch Response Time and Acceleration Response Time. It is derived as specified in Section 9.

3.2 Launch Response Time

Vehicle response in seconds from driver control input measured by a) initial throttle pedal movement (automatic transmission) or b) clutch movement (manual transmission) to Initial Vehicle Movement. See 3.3.

3.3 Initial Vehicle Movement (IVM)

Movement of vehicle a distance of 0.3048 m (one foot) from rest position.

SAE Technical Standards Board Rules provide that: "This report is published by SAE to advance the state of technical and engineering sciences. The use of this report is entirely voluntary, and its applicability and suitability for any particular use, including any patent infringement arising therefrom, is the sole responsibility of the user."

SAE reviews each technical report at least every five years at which time it may be reaffirmed, revised, or cancelled. SAE invites your written comments and suggestions.

Copyright © 2006 SAE International

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of SAE.

TO PLACE A DOCUMENT ORDER: Tel: 877-606-7323 (inside USA and Canada)
Tel: 724-776-4970 (outside USA)
Fax: 724-776-0790
Email: CustomerService@sae.org
SAE WEB ADDRESS: http://www.sae.org

3.4 Acceleration Response Time

Vehicle response in seconds from IVM to test end speed or distance. The Acceleration Response Time for distance is usually calculated at one quarter mile (0.402km).

3.5 Unloaded Vehicle Weight

The weight of the vehicle as built with production parts with maximum capacity of all fluids necessary for operation of the vehicle.

3.6 Miles per Hour

Miles per hour is a unit of speed, expressing the number of international miles covered per hour. The common abbreviation in everyday use is mph, although mi/h, using the SI method of expressing derived units, is sometimes used, especially in the United States. The preferred SI unit for velocity is m/s, although km/h is often used as a replacement for mph.

4. INSTRUMENTATION

(All instrumentation must be calibrated.)

4.1 Speed

Instrumentation to measure vehicle speed as a function of elapsed time meeting the following specifications:

a. Time

   1. Accuracy ±0.1 s
   2. Resolution 0.1 s

b. Vehicle Speed

   1. Accuracy ±0.8 km/h (±0.50 mph)
   2. Resolution 0.4 km/h (0.25 mph)

c. Engine Speed (tachometer)

   1. Accuracy ±50 rpm
   2. Resolution 25 rpm

4.2 Distance (One Foot) Optional

Equipment to measure Initial Vehicle Movement.

1. Accuracy ±5 mm
2. Resolution 12.5 mm

NOTE: This equipment is optional since the one foot distance used in calculations may be made by integration of speed.

4.3 Temperature

The ambient temperature measurement devices must have a resolution of 1 °C (2 °F) and an accuracy of ±1 °C (±2 °F). The sensing elements must be shielded from radiant heat sources.

4.4 Atmospheric Pressure

A barometer with an accuracy of ±0.7 kPa (±0.2 in Hg).

4.5 Wind

Wind speed and direction during the test should be continuously monitored. Wind measurements should permit the determination of average longitudinal and crosswind components to within ±2 km/h (±1 mph).

4.6 Vehicle Weight

Vehicle weight should be measured to an accuracy of ±5 kg (±10 lb) per axle.

4.7 Tire Pressure

Should be measured to an accuracy of ±7 kPa (±1 psi).

4.8 Distance (optional)

A distance indicating device is required for the 402 m (1/4 mile) test so that driver knows when to end test. This device must be capable of indicating distance to within 1 ft and must be capable of accuracy within 1 m in 1 km (5 ft in 1 mile). Fixed markers at the side of the test road can also be used.

NOTE: The 0.3048 m (one foot) test point will be measured using the speed and time during the data calculations.

4.9 Throttle Position Monitor (optional)

A readout to monitor/regulate throttle position. This can be used to monitor/regulate wheel spin on some vehicles.

4.10 Accelerometer (optional)

An accelerometer may be used to help in the analysis of data by providing information on shift points. An accelerometer with 2.0 g capability, 1% accuracy and .005 g resolution is suggested.

5. TEST MATERIAL

5.1 Test Vehicle

The test vehicle will normally be representative of a standard production built vehicle; any nonstandard equipment must be noted (i.e., roof racks, optional mirrors, fog lamps, spoilers, optional axle ratio, etc.). Record any equipment that is removed for test. The vehicle mass shall be set for the intended test purpose and recorded.

Consideration should be made to test automatic transmission shift modes like "sport" or "power."

5.2 Test Fuel

Commercially available fuel as recommended by the manufacturer will normally be used for test purposes. If the information is available or if a special test fuel is used, the fuel specifications should be recorded, such as: fuel generic type, gasoline octane rating or diesel cetane rating, brand name, specific gravity, Reid vapor pressure.

5.3 Lubricants

Lubricants used shall conform to the manufacturer's recommendation for the predominant weather condition in which the vehicle is being tested.

## 6. TEST CONDITIONS

### 6.1 Ambient Conditions

Tests should be run as close as possible to the standard conditions:

TABLE 1 – STANDARD AMBIENT CONDITIONS

| | Standard Condition | Correction preferred but not required if within this range | Test Range |
|---|---|---|---|
| Ambient temperature | 20 °C (68 °F)[1] | 15 – 25 °C (59 – 77 °F) | –1.0 and 32 °C (30 and 90 °F) |
| Barometric Pressure (absolute) | 98.21 kPa (29.0 in Hg)[1] | 98-100 kPa | 90-102 kPa |
| Relative Humidity | 50% | 40 – 60% | <95% |

1. Standard condition temperature and pressure are based on SAE J2263, "Roadload Measurement Using Onboard Anemometry and Coastdown Techniques."

### 6.2 Adverse Weather Conditions

The tests may not be run during foggy, rainy, or snowy conditions.

### 6.3 Wind Velocity

The tests may not be conducted when wind speeds average more than 24 km/h (15 mph) (or when peak wind speeds are more than 32 km/h (20 mph)).

### 6.4 Road Conditions

The roads must be dry, clean, smooth, and must not exceed 0.5% grade. In addition, the grade should be constant and the road should be straight. The road surface should be concrete or rolled asphalt (or equivalent) and in good condition; testing should not be conducted on slippery roads.

### 6.5 Speed Limitation

These tests should be run on a controlled track or proving grounds. If run on public roads or highways, speed should not exceed posted speed limit, and vehicle should not interfere with traffic flow or otherwise operate in a manner that would be hazardous.

## 7. VEHICLE PREPARATION

### 7.1 Break-In

The vehicle should have at least 1609 km (1000 miles) of operation or mileage to assure vehicle performance is stabilized as determined by manufacturer. Tires must have at least 75% of the tread remaining and tread must be in good condition. All tires must have at least 161 km (100 miles) of run in before test.

### 7.2 Vehicle Check List

- The vehicle must be inspected and adjusted where necessary to meet manufacturer's specifications, particularly if vehicle is exhibiting abnormal performance characteristics during acceleration. Tune and time engine, and make all other adjustments, such as front end alignment, and functional checks in accordance with manufacturer's published procedures.
- Operate, observe, and reset, if necessary, the throttle system linkage to ensure that wide open throttle occurs.
- If the vehicle is equipped with automatic transmission, ensure that automatic transmission shift points are within manufacturer's published specifications.
- Ensure that brake drag is not excessive.

7.3 Instrumentation

The speed-time measurement device and other necessary test equipment must be installed so that they do not hinder vehicle operation or alter the operating characteristics of the vehicle.

7.4 Test Weight

The vehicle weight shall be set for the intended test purpose and recorded.

7.5 Tire Pressure

The cold tire pressure should be the standard recommended by the manufacturer for the vehicle test weight and installed tires.

7.6 Vehicle Warm-up

The vehicle must be driven a minimum of 32 km (20 miles) at an average speed of 88 km/h (55 mph ± 5 mph) immediately prior to the test. Alternative schedules that provide equivalent vehicle warm-up can be substituted. There should not be more than a 5 min time lapse between the warm-up and the start of test.

8. TEST PROCEDURE

8.1 Test Schedules Summary

Perform wide open throttle (WOT) accelerations from a standing start and record the following:

- Launch Response Time (Control Input to IVM)
- Acceleration Response Time (IVM to test end speed)

Also perform the following test at wide-open-throttle:

- 64 to 97 km/h (40 to 60 mph) – Elapsed Time

8.2 Automatic Transmission Operating Procedure

From a standing start with engine at idle (braked, if necessary), with the shift selector in the "drive" position for normal operation, accelerate with wide-open-throttle. The vehicle should be operated to achieve maximum performance with minimum wheel spin. Begin recording data the instant the driver's foot moves the accelerator pedal.

8.3 Manual Transmission Operating Procedure

From a standing start, the vehicle should be operated to achieve maximum performance with minimum wheel spin. Clutch operation, as well as shift point selection, should be optimized for performance without exceeding the maximum specified engine rpm. Begin recording data at the instant of clutch pedal movement.

8.4 Test Procedure 40 to 60

Starting from a stabilized 64 km/h (40 mph), accelerate with wide-open throttle to 97 km/h (60 mph). Manual transmissions should be run both in top gear and top gear less one, with 4- or 5-speed transmissions. Test in 4th and 5th gear with a 6-speed manual transmission. Three-speed manual transmission should be run in top gear only. Manual transmissions should not be downshifted during this test. Begin recording data on throttle or clutch pedal movement per the manual or automatic procedure in 8.3 or 8.4 as applicable.

Automatic transmissions will be allowed to downshift as determined by the vehicle transmission controls.

8.5 Number of Tests and Delay

8.5.1 Run a minimum of three pairs of tests, with each pair conducted in opposing directions. When difficulty is experienced in one run, the pair is excluded.

8.5.2 A delay period of 30 seconds (default) or as requested by engineer is required between runs to maintain "closed-loop" mode. The delay avoids built-in engine control calibration overrides or changes which may occur under repeated back-to-back runs. The delay interval must be done with the vehicle moving to allow powertrain cool down.

8.6 Operation of Accessories

The headlamps are to be off. If the vehicle is equipped with pop-up lamps, the lamp pods should be in the down position. The lights should be on if required for safe vehicle operation, and so noted in test results.

- The heater blower motor shall be used in the "low" position only.
- Vehicles equipped with air conditioning should have the compressor clutch wire disconnected before the start of test.
- Radio operation is optional.
- All other electrical accessories must be in the off position.
- Windows should remain closed during test runs.
- Traction control system shall be in the "state providing maximum acceleration" determined by the requesting engineer.

9. DATA REDUCTION

9.1 Data Calculation

9.1.1 Time Zero. Launch and Acceleration Response Only

Time Zero is the time at which the pedal has gone through 10% of its travel. See Figure 1.

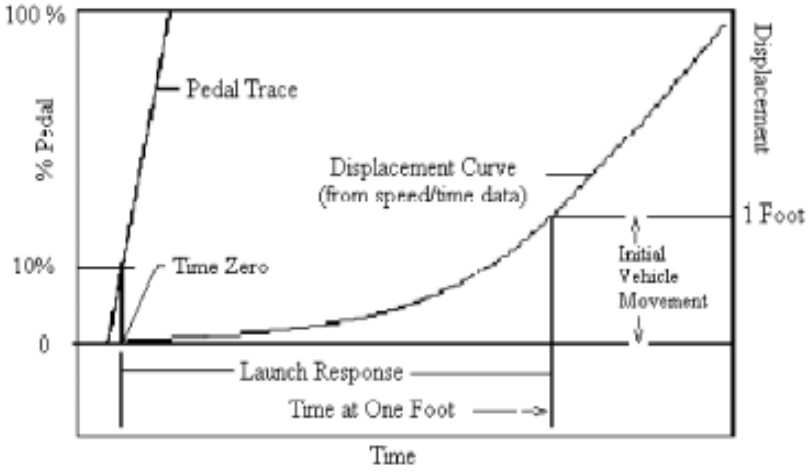



FIGURE 1 – GRAPHICAL DEFINITIONS

9.1.2 One Foot

Calculate the one foot distance by integrating the speed/time data to obtain a distance plot. See Figure 1. It may also be measured directly using optional instrumentation.

9.1.3 Launch Response Time

Calculate Launch Response Time from Time Zero (% Pedal) to the end of Initial Vehicle Movement (One foot distance).

9.1.4 Acceleration Response Time

Calculate Acceleration Response Time from the end of Initial Vehicle Movement (One foot distance) to specific test end speed or distance. These test end speeds are typically at 30 mph (48.3 kph) and 60 mph (96.6 kph). The Acceleration Response Time for distance is usually calculated at one quarter mile (0.402 km).

9.1.5 Interval 64 to 97 km/h (40 to 60 mph) – Elapsed Time

Calculate Elasped Time from initial throttle or clutch pedal movement (use calculated % pedal similar to Launch Response Time (Figure 1)) to end speed (97 km/h (60 mph).

9.2 Data Presentation

9.2.1 Vehicle and Test description

Record descriptions of the following systems: Vehicle (including manufacturer, model, year, odometer, VIN, weight, optional equipment) engine, transmission, tire and tire pressure, exhaust, axle, fuel, brake and fuel type.

9.2.2 Charts/Plots

Continuous plots may be charted as follows: speed versus time, time versus distance, or other data considered appropriate.

9.3 General

9.3.1 Data Variability

Because of unpredictable effects of wind on vehicle performance, the following guideline is suggested as a criterion for test acceptability.

The coefficient of variation (standard deviation of the paired runs)/mean of individual runs should not be greater than 3%. On the 40 to 60 mph acceleration, the coefficient of variation should not exceed 6%.

Mean is calculated as follows in Equation 1:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i}^{n} x_i}{n} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Standard deviation is calculated as in Equation 2:

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{\sum_{i}^{n} (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

9.3.2 Weather Correction

No provision for weather correction is made in this procedure due to its proprietary nature. Variables such as temperature, humidity, barometric pressure, wind speed, and direction must be considered by the tester in evaluating the test results.

Corrections are preferred but not required for temperature, pressure and humidity if test is run within the tolerance around the standard conditions specified in Section 6.1. Corrections shall be made if the test is conducted outside the tolerance and shall be made to the standard conditions specified in Section 6.1.

9.3.3 Other Variables Affecting Results

This procedure does not address all the variables that may affect test results. These variables include:

- Effects of ambient conditions on tire pressure and tire temperature.
- Track coefficient of static and dynamic friction.
- Non standard instrumentation.
- Driver differences.
- Track temperature.

10. NOTES

10.1 Marginal Indicia

The change bar (l) located in the left margin is for the convenience of the user in locating areas where technical revisions have been made to the previous issue of the report. An (R) symbol to the left of the document title indicates a complete revision of the report.

PREPARED BY THE SAE LIGHT DUTY VEHICLE PERFORMANCE AND ECONOMY MEASURE COMMITTEE

Anexo 22.- Prueba en pista caja de engranes helicoidales

Prueba 1

| [data] | Long | Velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 71350 | 0 | 1,34 | 2,15 | 0 |
| 4733 | 71311 | 6,48 | 1,95 | 2,91 | 1 |
| 4733 | 71132 | 16,65 | 5,28 | 6,31 | 2 |
| 4733 | 70856 | 24,36 | 11,02 | 11,63 | 3 |
| 4733 | 70456 | 30,85 | 18,8 | 19,39 | 4 |
| 4733 | 69982 | 34,03 | 28,05 | 28,55 | 5 |
| 4733 | 69469 | 37,73 | 37,73 | 38,47 | 6 |
| 4733 | 68888 | 44,14 | 49,09 | 49,69 | 7 |
| 4733 | 68212 | 49,83 | 62,17 | 62,74 | 8 |
| 4733 | 67460 | 55,06 | 76,77 | 77,2 | 9 |
| 4733 | 66648 | 56,48 | 92,39 | 92,94 | 10 |
| 4733 | 65849 | 54,96 | 107,89 | 108,45 | 11 |
| 4733 | 65018 | 58,63 | 123,76 | 124,63 | 12 |
| 4733 | 64137 | 61,67 | 140,47 | 141,76 | 13 |
| 4733 | 63225 | 64,41 | 157,96 | 159,5 | 14 |
| 4733 | 62287 | 66,21 | 176,1 | 177,78 | 15 |
| 4733 | 61325 | 68,52 | 194,85 | 196,52 | 16 |
| 4733 | 60331 | 70,76 | 214,19 | 215,89 | 17 |
| 4733 | 59317 | 71,19 | 233,95 | 235,68 | 18 |
| 4733 | 58270 | 74,42 | 254,3 | 256,07 | 19 |
| 4733 | 57187 | 76,11 | 275,21 | 277,14 | 20 |
| 4733 | 56087 | 76,87 | 296,55 | 298,56 | 21 |
| 4733 | 55013 | 75,02 | 317,69 | 319,62 | 22 |
| 4733 | 53963 | 74,96 | 338,5 | 340,26 | 23 |
| 4733 | 52830 | 75,92 | 360,46 | 362,4 | 24 |
| 4733 | 51783 | 77,89 | 380,75 | 382,87 | 25 |
| 4733 | 50776 | 79,73 | 400,46 | 402,52 | 25,9 |

Pruebas 2

| [data] | Long | Velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 83012 | 0,15 | 0,19 | 8,3 | 0 |
| 4733 | 83067 | 8,52 | 1,22 | 9,29 | 1 |
| 4733 | 83200 | 17,83 | 4,89 | 11,76 | 2 |
| 4733 | 83488 | 24,7 | 10,8 | 17,24 | 3 |
| 4733 | 83885 | 29,95 | 18,51 | 24,88 | 4 |
| 4733 | 84325 | 31,61 | 26,82 | 33,33 | 5 |
| 4733 | 84837 | 38,76 | 36,56 | 43,16 | 6 |
| 4733 | 85441 | 44,55 | 48,15 | 54,83 | 7 |
| 4733 | 86133 | 49,35 | 61,17 | 68,18 | 8 |
| 4733 | 86863 | 52,72 | 75,43 | 82,42 | 9 |
| 4733 | 87603 | 51,46 | 89,87 | 96,86 | 10 |
| 4733 | 88346 | 54,47 | 104,52 | 111,48 | 11 |
| 4733 | 89151 | 57,21 | 120,01 | 127,26 | 12 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 89977 | 60,13 | 136,29 | 143,55 | 13 |
| 4733 | 90835 | 62,52 | 153,23 | 160,47 | 14 |
| 4733 | 91743 | 64,84 | 170,92 | 178,3 | 15 |
| 4733 | 92686 | 66,88 | 189,24 | 196,87 | 16 |
| 4733 | 93648 | 68,44 | 208,09 | 215,83 | 17 |
| 4733 | 94618 | 70,06 | 227,34 | 235,07 | 18 |
| 4733 | 95619 | 71,63 | 247,01 | 254,94 | 19 |
| 4733 | 96623 | 73,12 | 267,09 | 274,92 | 20 |
| 4733 | 97635 | 73,32 | 287,54 | 295,09 | 21 |
| 4733 | 98639 | 73,15 | 307,81 | 315,07 | 22 |
| 4733 | 99670 | 74,19 | 328,33 | 335,58 | 23 |
| 4734 | 707 | 76,84 | 349,3 | 356,34 | 24 |
| 4734 | 1770 | 78,4 | 370,71 | 377,67 | 25 |
| 4734 | 2884 | 79,04 | 392,5 | 399,89 | 26 |
| 4734 | 3283 | 79,51 | 400,22 | 407,81 | 26,35 |

Prueba 3

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 10420 | 0,17 | 0,09 | 0,21 | 0 |
| 4734 | 10476 | 4,9 | 0,65 | 1,24 | 1 |
| 4734 | 10646 | 13,54 | 3,28 | 4,53 | 2 |
| 4734 | 10871 | 20,99 | 7,99 | 9,15 | 3 |
| 4734 | 11196 | 22,96 | 14,32 | 15,9 | 4 |
| 4734 | 11561 | 26,63 | 21,05 | 23,44 | 5 |
| 4734 | 12013 | 33,1 | 29,44 | 32,67 | 6 |
| 4734 | 12549 | 38,34 | 39,4 | 43,5 | 7 |
| 4734 | 13146 | 42,89 | 50,69 | 55,4 | 8 |
| 4734 | 13816 | 46,81 | 63,17 | 68,62 | 9 |
| 4734 | 14543 | 50,63 | 76,72 | 82,85 | 10 |
| 4734 | 15261 | 49,02 | 90,61 | 97,02 | 11 |
| 4734 | 15977 | 52,28 | 104,61 | 111,17 | 12 |
| 4734 | 16716 | 55,85 | 119,7 | 125,91 | 13 |
| 4734 | 17523 | 58,56 | 135,65 | 142 | 14 |
| 4734 | 18387 | 61,62 | 152,31 | 159,18 | 15 |
| 4734 | 19290 | 63,46 | 170,19 | 177,18 | 16 |
| 4734 | 20217 | 65,99 | 188,33 | 195,72 | 17 |
| 4734 | 21180 | 69,07 | 207,04 | 214,83 | 18 |
| 4734 | 22137 | 70,16 | 226,36 | 233,98 | 19 |
| 4734 | 23128 | 71,88 | 246,03 | 253,77 | 20 |
| 4734 | 24126 | 72,94 | 266,05 | 273,69 | 21 |
| 4734 | 25156 | 74,09 | 286,3 | 294,2 | 22 |
| 4734 | 26193 | 75,02 | 306,94 | 314,88 | 23 |
| 4734 | 27230 | 75,37 | 327,87 | 335,58 | 24 |
| 4734 | 28277 | 75,82 | 348,74 | 356,43 | 25 |
| 4734 | 29359 | 77,53 | 369,99 | 377,82 | 26 |
| 4734 | 30471 | 78,99 | 391,8 | 399,69 | 27 |
| 4734 | 30917 | 78,64 | 400,56 | 408,41 | 27,4 |

Pruebas 4

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 51671 | 0 | 0,17 | 3,24 | 0 |
| 4734 | 51665 | 5,82 | 0,66 | 3,26 | 1 |
| 4734 | 51519 | 15,14 | 3,42 | 6,13 | 2 |
| 4734 | 51230 | 24,85 | 9,15 | 11,57 | 3 |
| 4734 | 50807 | 33,25 | 17,23 | 19,55 | 4 |
| 4734 | 50318 | 34,9 | 26,44 | 28,82 | 5 |
| 4734 | 49737 | 42,58 | 37,15 | 39,83 | 6 |
| 4734 | 49043 | 49,64 | 49,86 | 52,96 | 7 |
| 4734 | 48270 | 54,49 | 64,33 | 67,59 | 8 |
| 4734 | 47431 | 57,14 | 80,02 | 83,4 | 9 |
| 4734 | 46579 | 57,45 | 95,83 | 99,52 | 10 |
| 4734 | 45686 | 61,75 | 112,37 | 116,39 | 11 |
| 4734 | 44757 | 65,93 | 129,87 | 134,02 | 12 |
| 4734 | 43763 | 69,48 | 148,65 | 152,85 | 13 |
| 4734 | 42703 | 72,55 | 168,31 | 172,92 | 14 |
| 4734 | 41609 | 75,4 | 188,83 | 193,62 | 15 |
| 4734 | 40482 | 77,89 | 210,11 | 214,98 | 16 |
| 4734 | 39311 | 80,62 | 232,12 | 237,23 | 17 |
| 4734 | 38117 | 80,88 | 254,61 | 259,97 | 18 |
| 4734 | 36925 | 80,98 | 276,91 | 282,72 | 19 |
| 4734 | 35713 | 83,65 | 299,7 | 305,91 | 20 |
| 4734 | 34461 | 84,94 | 323,32 | 329,93 | 21 |
| 4734 | 33256 | 83,69 | 346,58 | 353,14 | 22 |
| 4734 | 32064 | 86,46 | 370,21 | 376,28 | 23 |
| 4734 | 30838 | 87,36 | 394,51 | 400,15 | 24 |
| 4734 | 30531 | 87,21 | 400,6 | 406,12 | 24,25 |

Prueba 5

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 29299 | 0,61 | 0,08 | 6,62 | 0 |
| 4734 | 29296 | 10,52 | 1,41 | 6,06 | 1 |
| 4734 | 29120 | 19,28 | 5,59 | 8,91 | 2 |
| 4734 | 28813 | 26,12 | 11,99 | 14,66 | 3 |
| 4734 | 28446 | 27,54 | 19,47 | 21,86 | 4 |
| 4734 | 28017 | 34,61 | 28,1 | 30,42 | 5 |
| 4734 | 27502 | 40,15 | 38,5 | 40,71 | 6 |
| 4734 | 26911 | 44,63 | 50,34 | 52,58 | 7 |
| 4734 | 26255 | 48,93 | 63,38 | 65,68 | 8 |
| 4734 | 25557 | 49,57 | 77,14 | 79,65 | 9 |
| 4734 | 24849 | 50,7 | 91,03 | 93,89 | 10 |
| 4734 | 24098 | 54,82 | 105,78 | 108,94 | 11 |
| 4734 | 23299 | 58,27 | 121,53 | 124,93 | 12 |
| 4734 | 22446 | 61,32 | 138,25 | 141,97 | 13 |
| 4734 | 21562 | 62,28 | 155,54 | 159,67 | 14 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 20641 | 66,73 | 173,72 | 178,15 | 15 |
| 4734 | 19688 | 69,02 | 192,46 | 197,23 | 16 |
| 4734 | 18727 | 69,42 | 211,69 | 216,42 | 17 |
| 4734 | 17717 | 71,26 | 231,24 | 236,46 | 18 |
| 4734 | 16750 | 71,19 | 251 | 255,97 | 19 |
| 4734 | 15770 | 72,59 | 270,81 | 275,49 | 20 |
| 4734 | 14738 | 75,77 | 291,44 | 296,09 | 21 |
| 4734 | 13651 | 78,1 | 312,78 | 317,7 | 22 |
| 4734 | 12533 | 80,33 | 334,79 | 339,99 | 23 |
| 4734 | 11390 | 81,52 | 357,27 | 362,72 | 24 |
| 4734 | 10229 | 82,67 | 380,08 | 385,78 | 25 |
| 4734 | 9171 | 84,09 | 400,91 | 406,79 | 25,9 |

Prueba 6

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 25395 | 1,63 | 0,19 | 0,93 | 0 |
| 4734 | 25605 | 13,36 | 2,27 | 3,02 | 1 |
| 4734 | 25851 | 20,99 | 7,05 | 7,67 | 2 |
| 4734 | 26184 | 25,34 | 13,72 | 14,33 | 3 |
| 4734 | 26548 | 27,15 | 20,83 | 21,62 | 4 |
| 4734 | 26977 | 33,45 | 29,25 | 30,17 | 5 |
| 4734 | 27482 | 38,59 | 39,24 | 40,23 | 6 |
| 4734 | 28057 | 43,08 | 50,58 | 51,6 | 7 |
| 4734 | 28697 | 47,02 | 63,11 | 64,21 | 8 |
| 4734 | 29375 | 47,14 | 76,36 | 77,53 | 9 |
| 4734 | 30049 | 48,19 | 89,42 | 90,75 | 10 |
| 4734 | 30756 | 51,4 | 103,24 | 104,58 | 11 |
| 4734 | 31517 | 55,08 | 117,98 | 119,28 | 12 |
| 4734 | 32326 | 57,57 | 133,61 | 134,93 | 13 |
| 4734 | 33177 | 60,18 | 149,93 | 151,38 | 14 |
| 4734 | 34063 | 62,53 | 166,97 | 168,52 | 15 |
| 4734 | 34991 | 64,69 | 184,65 | 186,47 | 16 |
| 4734 | 35955 | 66,92 | 202,96 | 205,07 | 17 |
| 4734 | 36957 | 69 | 221,84 | 224,31 | 18 |
| 4734 | 38009 | 70,86 | 241,28 | 244,42 | 19 |
| 4734 | 39086 | 73,51 | 261,3 | 264,9 | 20 |
| 4734 | 40200 | 77,1 | 282,19 | 286,03 | 21 |
| 4734 | 41355 | 77,22 | 303,77 | 307,92 | 22 |
| 4734 | 42497 | 77,35 | 325,15 | 329,58 | 23 |
| 4734 | 43648 | 79,32 | 346,86 | 351,37 | 24 |
| 4734 | 44821 | 80,73 | 369,01 | 373,57 | 25 |
| 4734 | 46014 | 82,61 | 391,65 | 396,26 | 26 |
| 4734 | 46500 | 82,63 | 400,83 | 405,48 | 26,4 |

Prueba 7

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 2635 | 0,1 | 0,12 | 3,11 | 0 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 2708 | 10,08 | 1,34 | 1,41 | 1 |
| 4734 | 2910 | 18,15 | 5,34 | 2,9 | 2 |
| 4734 | 3205 | 24,72 | 11,33 | 8,79 | 3 |
| 4734 | 3567 | 25,54 | 18,54 | 16,09 | 4 |
| 4734 | 3963 | 30,39 | 26,18 | 24,11 | 5 |
| 4734 | 4438 | 36,13 | 35,43 | 33,85 | 6 |
| 4734 | 4977 | 40,99 | 46,15 | 44,85 | 7 |
| 4734 | 5582 | 44,85 | 58,14 | 57,16 | 8 |
| 4734 | 6209 | 44,03 | 70,42 | 69,82 | 9 |
| 4734 | 6856 | 48,15 | 83,26 | 82,79 | 10 |
| 4734 | 7545 | 51,8 | 97,13 | 96,5 | 11 |
| 4734 | 8286 | 55,19 | 111,92 | 111,3 | 12 |
| 4734 | 9071 | 58,37 | 127,69 | 127,01 | 13 |
| 4734 | 9898 | 61,19 | 144,31 | 143,57 | 14 |
| 4734 | 10778 | 64,01 | 161,7 | 161,2 | 15 |
| 4734 | 11704 | 66,16 | 179,81 | 179,65 | 16 |
| 4734 | 12655 | 68,22 | 198,46 | 198,56 | 17 |
| 4734 | 13624 | 68,39 | 217,55 | 217,82 | 18 |
| 4734 | 14578 | 68,11 | 236,36 | 236,78 | 19 |
| 4734 | 15540 | 69,8 | 255,52 | 255,9 | 20 |
| 4734 | 16524 | 71,82 | 275,11 | 275,54 | 21 |
| 4734 | 17530 | 73,03 | 295,19 | 295,61 | 22 |
| 4734 | 18545 | 74,05 | 315,65 | 315,9 | 23 |
| 4734 | 19580 | 75,79 | 336,44 | 336,55 | 24 |
| 4734 | 20634 | 76,53 | 357,67 | 357,68 | 25 |
| 4734 | 21701 | 77,89 | 379,12 | 379,01 | 26 |
| 4734 | 22790 | 78,83 | 400,93 | 400,94 | 27 |

Prueba 8

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 79531 | 0,11 | 0,12 | 5,96 | 0 |
| 4733 | 79579 | 9,03 | 1,19 | 4,88 | 1 |
| 4733 | 79780 | 19,34 | 5,26 | 0,87 | 2 |
| 4733 | 80089 | 24,9 | 11,51 | 5,29 | 3 |
| 4733 | 80435 | 26,56 | 18,42 | 12,11 | 4 |
| 4733 | 80863 | 33,36 | 26,76 | 20,52 | 5 |
| 4733 | 81365 | 38,61 | 36,75 | 30,31 | 6 |
| 4733 | 81935 | 43,39 | 48,09 | 41,48 | 7 |
| 4733 | 82558 | 44,91 | 60,47 | 53,67 | 8 |
| 4733 | 83185 | 45,2 | 72,77 | 65,99 | 9 |
| 4733 | 83841 | 48,35 | 85,74 | 78,84 | 10 |
| 4733 | 84543 | 51,61 | 99,6 | 92,52 | 11 |
| 4733 | 85283 | 54,3 | 114,31 | 106,94 | 12 |
| 4733 | 86068 | 57,08 | 129,82 | 122,26 | 13 |
| 4733 | 86905 | 59,75 | 146,05 | 138,63 | 14 |
| 4733 | 87787 | 62,3 | 163 | 155,93 | 15 |
| 4733 | 88697 | 64,1 | 180,57 | 173,88 | 16 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 89623 | 65,95 | 198,66 | 192,13 | 17 |
| 4733 | 90559 | 67,95 | 217,22 | 210,58 | 18 |
| 4733 | 91497 | 66,71 | 235,97 | 229,08 | 19 |
| 4733 | 92432 | 67,89 | 254,61 | 247,54 | 20 |
| 4733 | 93392 | 69,74 | 273,75 | 266,56 | 21 |
| 4733 | 94382 | 72,02 | 293,42 | 286,16 | 22 |
| 4733 | 95407 | 73,8 | 313,66 | 306,43 | 23 |
| 4733 | 96450 | 75,58 | 334,41 | 327,11 | 24 |
| 4733 | 97510 | 77,29 | 355,65 | 348,27 | 25 |
| 4733 | 98610 | 78,91 | 377,35 | 370,19 | 26 |
| 4733 | 99732 | 80,4 | 399,55 | 392,75 | 27 |
| 4733 | 99788 | 80,4 | 400,67 | 393,88 | 27,05 |

Prueba 9

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 85091 | 0,38 | 0,35 | 0,36 | 0 |
| 4733 | 84839 | 20,24 | 5,77 | 4,81 | 2 |
| 4733 | 84526 | 23,34 | 12,1 | 10,95 | 3 |
| 4733 | 84146 | 30,11 | 19,41 | 18,38 | 4 |
| 4733 | 83665 | 37,88 | 28,83 | 27,71 | 5 |
| 4733 | 83073 | 45,3 | 40,4 | 39,2 | 6 |
| 4733 | 82390 | 50,34 | 53,87 | 52,54 | 7 |
| 4733 | 81674 | 51,56 | 67,84 | 66,56 | 8 |
| 4733 | 80904 | 56,47 | 82,83 | 81,63 | 9 |
| 4733 | 80051 | 61,51 | 99,23 | 98,26 | 10 |
| 4733 | 79129 | 64,83 | 116,95 | 116,27 | 11 |
| 4733 | 78186 | 66,39 | 135,05 | 134,64 | 12 |
| 4733 | 77210 | 68,93 | 153,92 | 153,51 | 13 |
| 4733 | 76192 | 73,06 | 173,71 | 173,22 | 14 |
| 4733 | 75137 | 75,89 | 194,39 | 193,8 | 15 |
| 4733 | 74032 | 78,46 | 215,84 | 215,4 | 16 |
| 4733 | 72888 | 80,54 | 237,94 | 237,62 | 17 |
| 4733 | 71702 | 82,89 | 260,69 | 260,61 | 18 |
| 4733 | 70491 | 84,93 | 284,02 | 284,07 | 19 |
| 4733 | 69256 | 86,63 | 307,83 | 307,88 | 20 |
| 4733 | 67993 | 88,24 | 332,12 | 332,24 | 21 |
| 4733 | 66707 | 89,91 | 356,88 | 357,11 | 22 |
| 4733 | 65409 | 91,73 | 382,07 | 382,37 | 23 |
| 4733 | 64488 | 93,4 | 400,04 | 400,26 | 23,7 |

Prueba 10

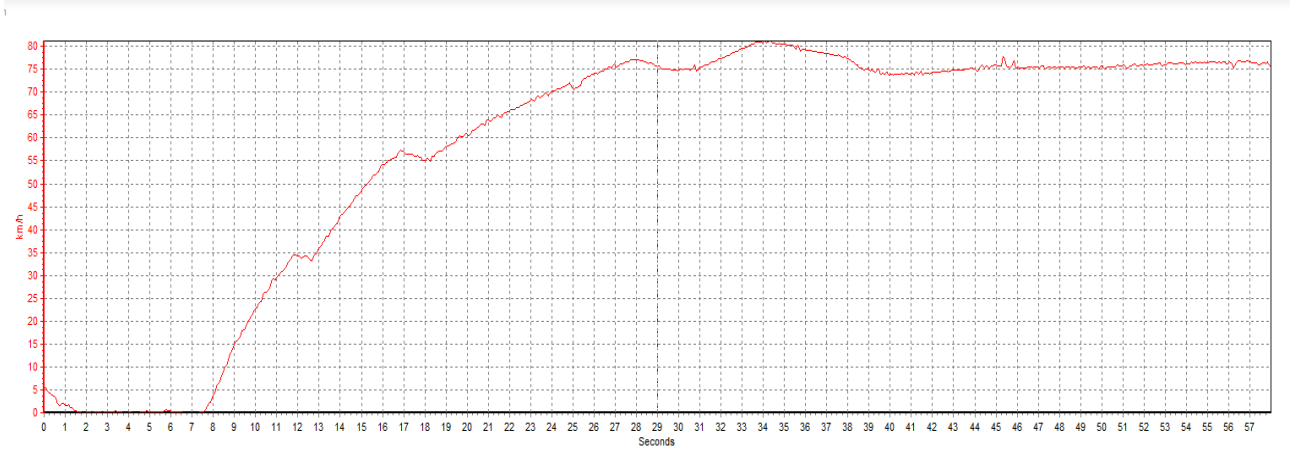
| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 29100 | 0,48 | 0,16 | 1,77 | 0 |
| 4734 | 29085 | 5,1 | 0,73 | 1,93 | 1 |
| 4734 | 28973 | 12,39 | 3,19 | 4 | 2 |
| 4734 | 28760 | 19,15 | 7,58 | 8,16 | 3 |
| 4734 | 28458 | 24,16 | 13,7 | 14,15 | 4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 28120 | 26,35 | 20,5 | 20,92 | 5 |
| 4734 | 27701 | 33,7 | 28,86 | 29,37 | 6 |
| 4734 | 27186 | 40,56 | 39,2 | 39,7 | 7 |
| 4734 | 26578 | 46,59 | 51,33 | 51,71 | 8 |
| 4734 | 25918 | 48,03 | 64,61 | 64,86 | 9 |
| 4734 | 25227 | 50,73 | 78,16 | 78,65 | 10 |
| 4734 | 24480 | 55,13 | 92,85 | 93,59 | 11 |
| 4734 | 23678 | 58,88 | 108,63 | 109,69 | 12 |
| 4734 | 22831 | 62,3 | 125,45 | 126,63 | 13 |
| 4734 | 21944 | 65,77 | 143,22 | 144,38 | 14 |
| 4734 | 21015 | 68,33 | 161,88 | 162,94 | 15 |
| 4734 | 20044 | 69,63 | 181,3 | 182,3 | 16 |
| 4734 | 19057 | 69,86 | 200,79 | 201,97 | 17 |
| 4734 | 18075 | 70,53 | 220,28 | 221,48 | 18 |
| 4734 | 17083 | 72,35 | 240,15 | 241,43 | 19 |
| 4734 | 16067 | 74,09 | 260,5 | 261,79 | 20 |
| 4734 | 15014 | 76 | 281,32 | 282,86 | 21 |
| 4734 | 13936 | 77,67 | 302,65 | 304,48 | 22 |
| 4734 | 12846 | 79,13 | 324,44 | 326,37 | 23 |
| 4734 | 11738 | 80,27 | 346,61 | 348,53 | 24 |
| 4734 | 10614 | 80,97 | 368,98 | 370,94 | 25 |
| 4734 | 9478 | 82,09 | 391,62 | 393,59 | 26 |
| 4734 | 9018 | 82,41 | 400,76 | 402,76 | 26,4 |

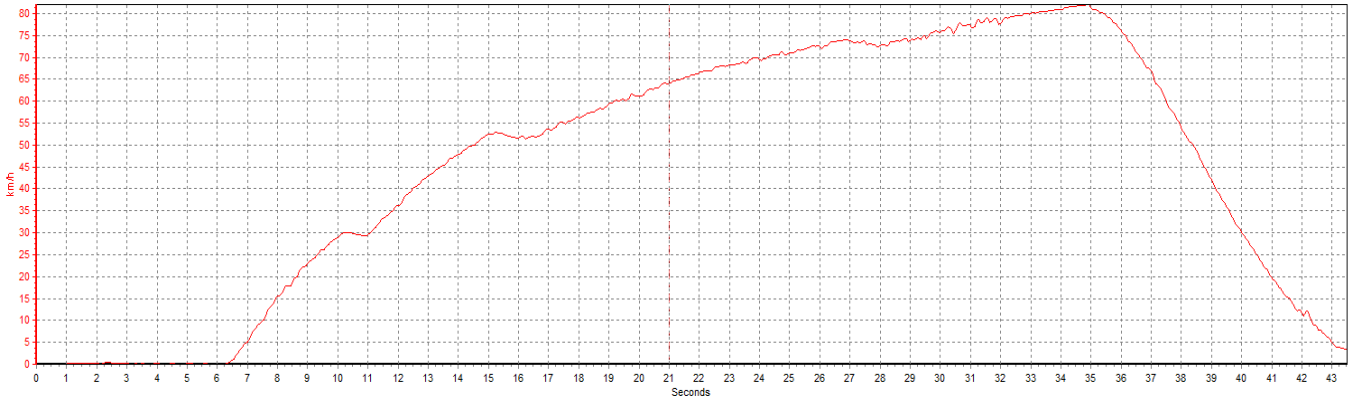
Fuente (Sport)

Anexo 23.- Gráficas de performance box tools con la caja de engranes helicoidales

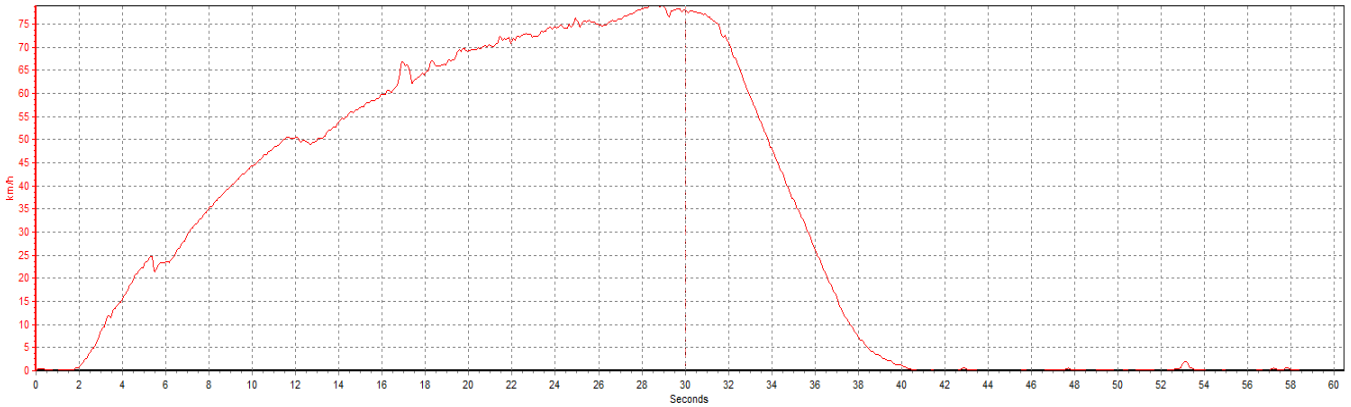
Gráfica 1



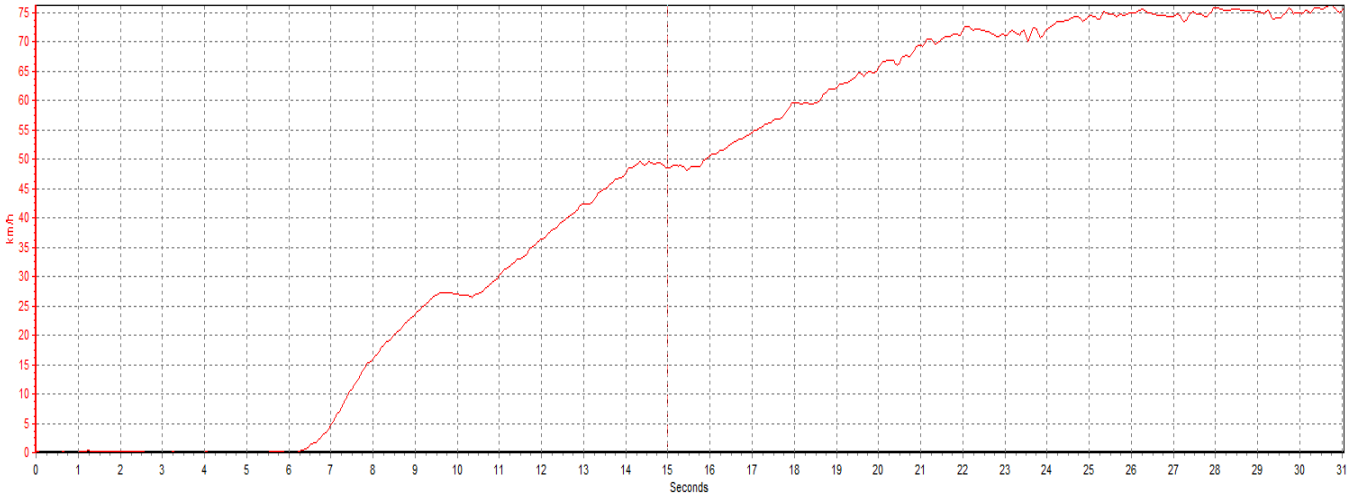

Gráfica 2



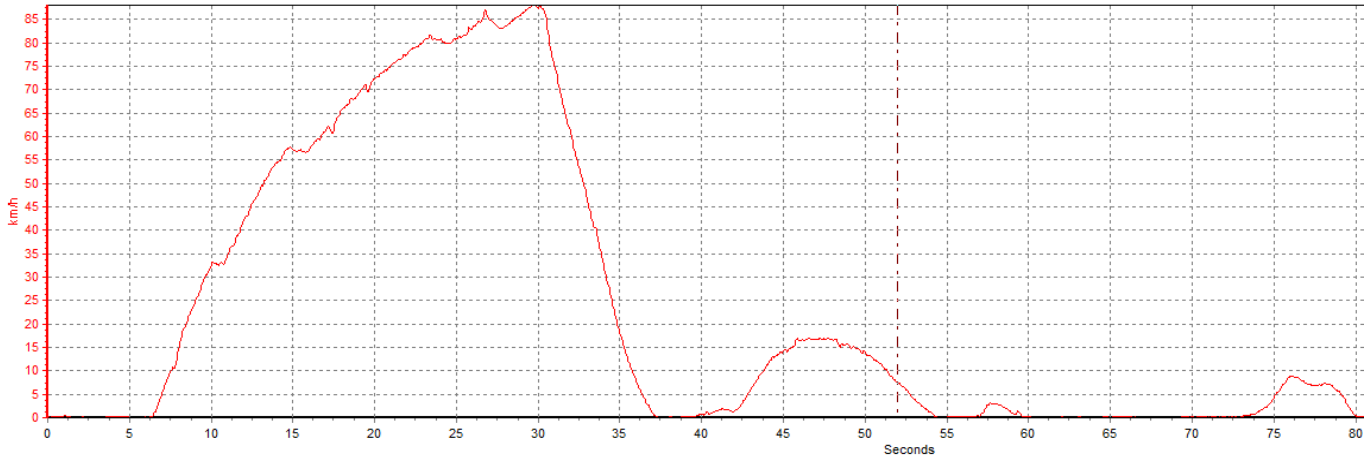
Gráfica 3



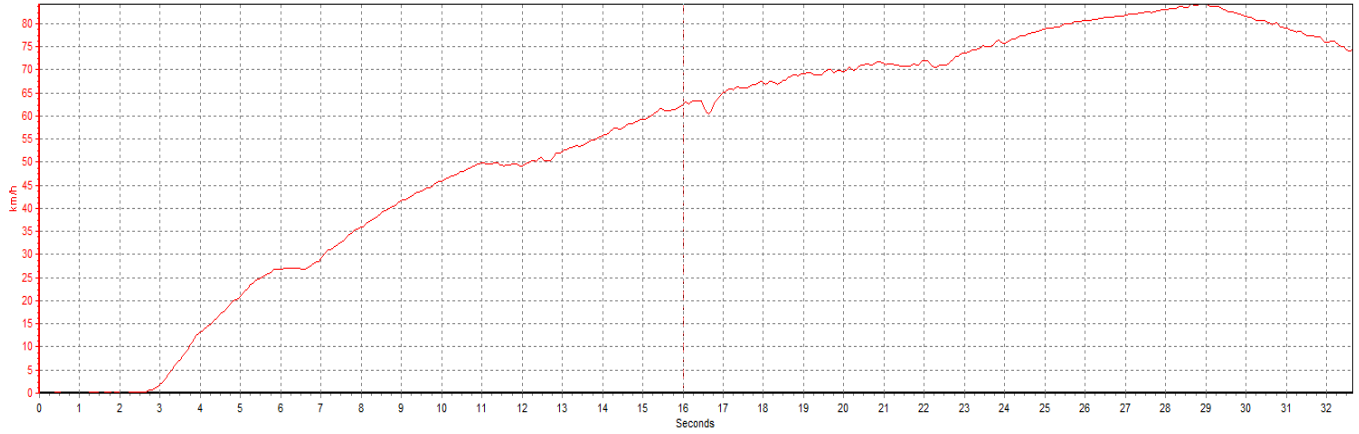

Gráfica 4



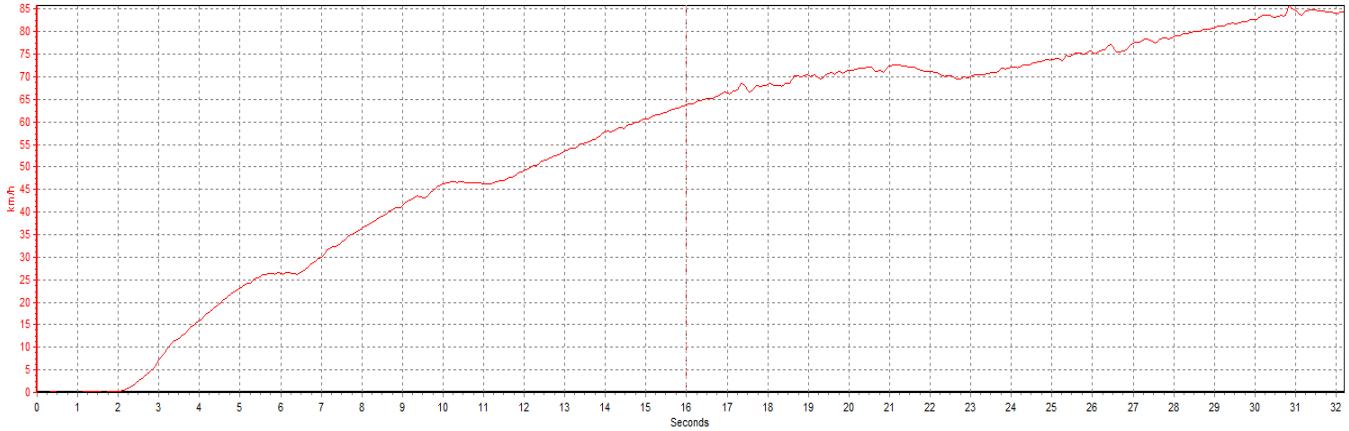
Gráfica 5



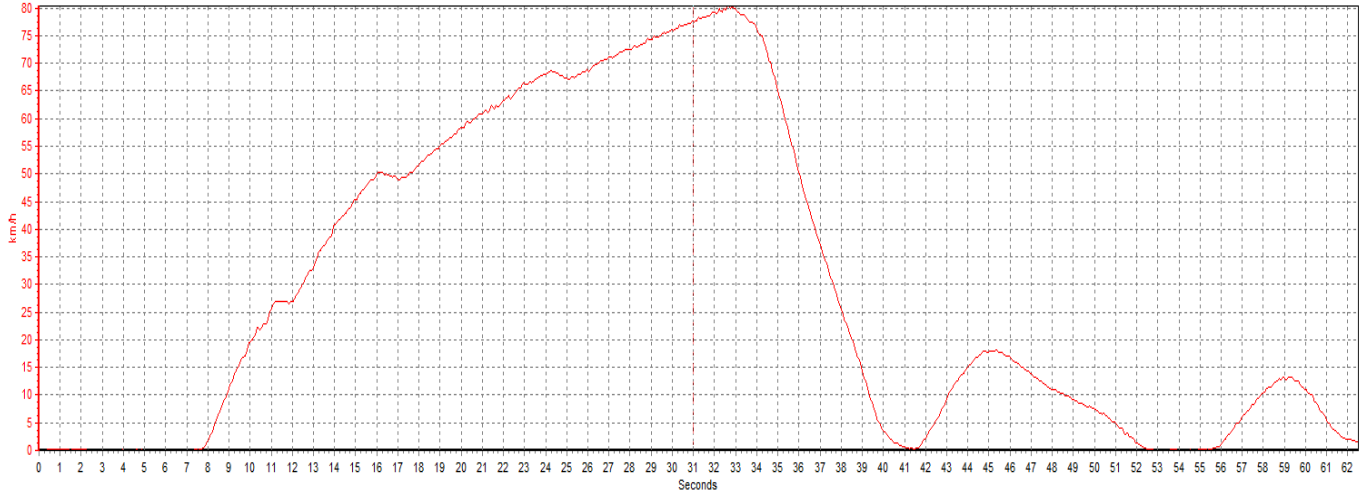

Gráfica 6



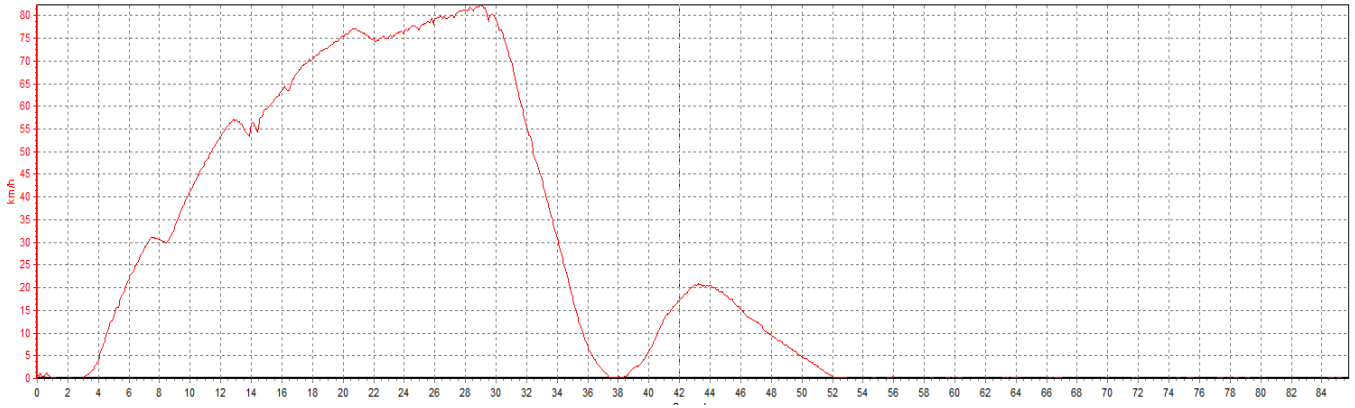
Gráfica 7



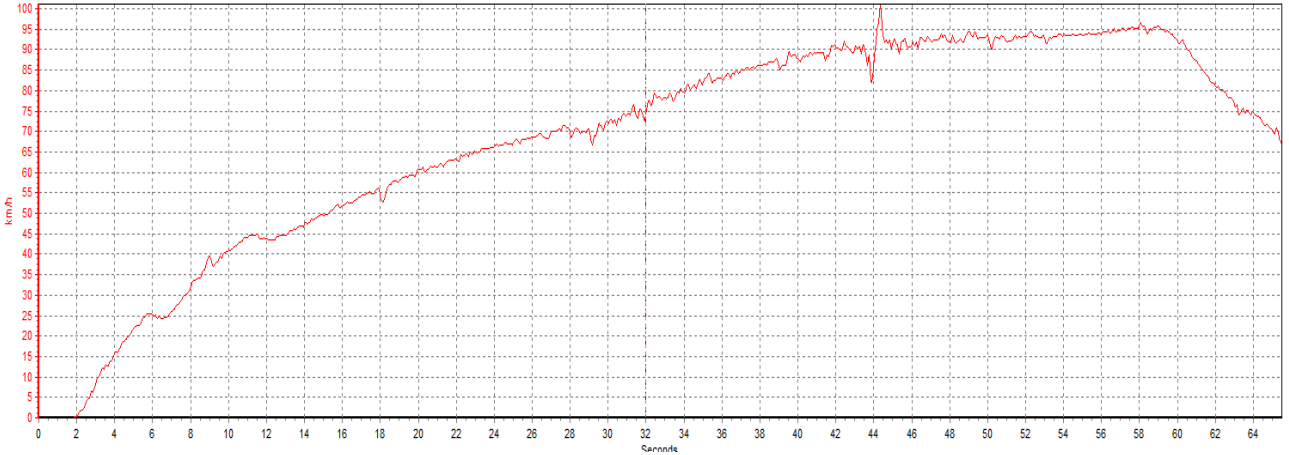

Gráfica 8



Gráfica 9




Gráfica 10




Fuente (Sport)

Anexo 24.- Prueba en pista caja de engranes rectos

Prueba 1

| [data] | long | Velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 87447 | 0,77 | 0,04 | 1,05 | 0 |
| 4733 | 87553 | 17,71 | 2,45 | 2,45 | 1 |
| 4733 | 87864 | 26,84 | 8,68 | 8,13 | 2 |
| 4733 | 88288 | 33,92 | 17,19 | 16,4 | 3 |
| 4733 | 88786 | 37,31 | 27,08 | 26,18 | 4 |
| 4733 | 89389 | 45,75 | 38,87 | 38,07 | 5 |
| 4733 | 90066 | 51,52 | 52,39 | 51,48 | 6 |
| 4733 | 90821 | 56,51 | 67,39 | 66,44 | 7 |
| 4733 | 91641 | 60,7 | 83,67 | 82,66 | 8 |
| 4733 | 92529 | 64,53 | 101,07 | 100,16 | 9 |
| 4733 | 93471 | 67,47 | 119,41 | 118,69 | 10 |
| 4733 | 94442 | 67,6 | 138,18 | 137,83 | 11 |
| 4733 | 95448 | 72,11 | 157,7 | 157,72 | 12 |
| 4733 | 96477 | 75,35 | 178,18 | 178,16 | 13 |
| 4733 | 97550 | 78,5 | 199,53 | 199,58 | 14 |
| 4733 | 98667 | 80,82 | 221,57 | 221,99 | 15 |
| 4733 | 99801 | 83,91 | 244,51 | 244,82 | 16 |
| 4734 | 977 | 86,36 | 268,12 | 268,49 | 17 |
| 4734 | 2196 | 88,36 | 292,36 | 292,97 | 18 |
| 4734 | 3440 | 90,44 | 317,17 | 317,93 | 19 |
| 4734 | 4702 | 92,19 | 342,49 | 343,21 | 20 |
| 4734 | 5989 | 94,04 | 368,36 | 368,91 | 21 |
| 4734 | 7284 | 94,98 | 394,66 | 394,87 | 22 |
| 4734 | 7547 | 95,53 | 399,96 | 400,14 | 22,2 |

Pruebas 2

| [data] | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 6 | 0,66 | 7,74 | 0 |
| 9 | 20,74 | 4,61 | 10,99 | 1 |
| 8 | 29,61 | 11,7 | 17,28 | 2 |
| 9 | 35,39 | 20,89 | 26,36 | 3 |
| 10 | 43,98 | 31,67 | 36,85 | 4 |
| 10 | 50,27 | 44,76 | 49,6 | 5 |
| 8 | 55,88 | 59,55 | 64,3 | 6 |
| 10 | 61 | 75,82 | 80,62 | 7 |
| 10 | 65,71 | 93,39 | 98,47 | 8 |
| 10 | 68,49 | 111,78 | 117,23 | 9 |
| 10 | 73,2 | 131,48 | 137,18 | 10 |
| 10 | 76,87 | 152,36 | 158,05 | 11 |
| 10 | 80,95 | 174,35 | 179,76 | 12 |
| 10 | 84 | 197,31 | 202,82 | 13 |
| 10 | 87,86 | 221,21 | 226,71 | 14 |
| 10 | 89,82 | 245,86 | 251,46 | 15 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 92,93 | 271,25 | 277,15 | 16 |
| 10 | 95,57 | 297,3 | 303,32 | 17 |
| 10 | 98,07 | 324,19 | 330,2 | 18 |
| 10 | 100,24 | 351,72 | 358,05 | 19 |
| 10 | 102,53 | 379,86 | 386,21 | 20 |
| 10 | 103,97 | 399,94 | 406,31 | 20,7 |

Pruebas 3

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 82944 | 4,66 | 0,56 | 2,41 | 0 |
| 4733 | 83084 | 15,65 | 3,47 | 5,29 | 1 |
| 4733 | 83384 | 26,11 | 9,48 | 11,22 | 2 |
| 4733 | 83804 | 33,59 | 17,85 | 19,53 | 3 |
| 4733 | 84292 | 36,72 | 27,49 | 29,21 | 4 |
| 4733 | 84877 | 44,59 | 38,94 | 40,72 | 5 |
| 4733 | 85552 | 50,44 | 52,12 | 54,05 | 6 |
| 4733 | 86307 | 55,33 | 66,79 | 68,83 | 7 |
| 4733 | 87132 | 58,92 | 82,71 | 85 | 8 |
| 4733 | 87995 | 63,36 | 99,73 | 102 | 9 |
| 4733 | 88904 | 65,74 | 117,74 | 120 | 10 |
| 4733 | 89828 | 67,42 | 135,98 | 138,27 | 11 |
| 4733 | 90803 | 71,26 | 155,2 | 157,59 | 12 |
| 4733 | 91823 | 74,24 | 175,36 | 177,79 | 13 |
| 4733 | 92900 | 76,96 | 196,39 | 199,08 | 14 |
| 4733 | 94011 | 80,2 | 218,18 | 220,99 | 15 |
| 4733 | 95153 | 82,43 | 240,78 | 243,63 | 16 |
| 4733 | 96345 | 84,85 | 264,07 | 267,3 | 17 |
| 4733 | 97565 | 87,74 | 288 | 291,72 | 18 |
| 4733 | 98796 | 89,15 | 312,52 | 316,35 | 19 |
| 4734 | 53 | 90,81 | 337,58 | 341,56 | 20 |
| 4734 | 1329 | 92,84 | 363,14 | 367,16 | 21 |
| 4734 | 2650 | 94,35 | 389,17 | 393,66 | 22 |
| 4734 | 3182 | 95,03 | 399,69 | 404,28 | 22,4 |

Prueba 4

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 29357 | 6,57 | 0,58 | 1,29 | 0 |
| 4734 | 29198 | 18,08 | 4,19 | 2,01 | 1 |
| 4734 | 28892 | 27,34 | 10,54 | 8,19 | 2 |
| 4734 | 28455 | 35 | 19,22 | 16,92 | 3 |
| 4734 | 27942 | 40,7 | 29,39 | 27,1 | 4 |
| 4734 | 27298 | 48,42 | 41,93 | 39,85 | 5 |
| 4734 | 26569 | 54,5 | 56,25 | 54,32 | 6 |
| 4734 | 25761 | 59,76 | 72,16 | 70,37 | 7 |
| 4734 | 24884 | 64,19 | 89,4 | 87,84 | 8 |
| 4734 | 23939 | 68,14 | 107,81 | 106,65 | 9 |
| 4734 | 22963 | 70,45 | 126,89 | 126,07 | 10 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 21940 | 75,05 | 147,2 | 146,46 | 11 |
| 4734 | 20855 | 79,1 | 168,6 | 168,09 | 12 |
| 4734 | 19715 | 82,36 | 190,98 | 190,78 | 13 |
| 4734 | 18542 | 85,3 | 214,27 | 214,22 | 14 |
| 4734 | 17325 | 88,42 | 238,39 | 238,54 | 15 |
| 4734 | 16073 | 91,2 | 263,29 | 263,54 | 16 |
| 4734 | 14773 | 93,36 | 288,87 | 289,43 | 17 |
| 4734 | 13459 | 96,08 | 315,12 | 315,69 | 18 |
| 4734 | 12121 | 97,78 | 341,86 | 342,44 | 19 |
| 4734 | 10744 | 100,18 | 369,36 | 369,98 | 20 |
| 4734 | 9343 | 101,94 | 397,43 | 397,99 | 21 |
| 4734 | 9201 | 102,2 | 400,27 | 400,84 | 21,1 |

Prueba 5

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 96751 | 0,86 | 0,17 | 1,18 | 0 |
| 4733 | 96673 | 11,09 | 1,99 | 2,1 | 1 |
| 4733 | 96913 | 23,3 | 6,88 | 6 | 2 |
| 4733 | 97279 | 30,7 | 14,43 | 13,14 | 3 |
| 4733 | 97738 | 37 | 23,91 | 22,34 | 4 |
| 4733 | 98261 | 42,54 | 34,66 | 32,88 | 5 |
| 4733 | 98886 | 48,08 | 47,23 | 45,41 | 6 |
| 4733 | 99583 | 52,83 | 61,28 | 59,35 | 7 |
| 4734 | 353 | 57,57 | 76,63 | 74,77 | 8 |
| 4734 | 1179 | 61,39 | 93,15 | 91,35 | 9 |
| 4734 | 2052 | 64,46 | 110,66 | 108,91 | 10 |
| 4734 | 2955 | 64,85 | 128,69 | 127,05 | 11 |
| 4734 | 3904 | 69,58 | 147,53 | 145,89 | 12 |
| 4734 | 4901 | 72,69 | 167,29 | 165,7 | 13 |
| 4734 | 5934 | 75,73 | 187,88 | 186,29 | 14 |
| 4734 | 7007 | 78,34 | 209,27 | 207,61 | 15 |
| 4734 | 8107 | 80,83 | 231,38 | 229,58 | 16 |
| 4734 | 9248 | 83,05 | 254,13 | 252,35 | 17 |
| 4734 | 10419 | 85 | 277,51 | 275,78 | 18 |
| 4734 | 11610 | 87,1 | 301,46 | 299,68 | 19 |
| 4734 | 12837 | 89,09 | 325,93 | 324,14 | 20 |
| 4734 | 14092 | 90,69 | 350,83 | 349,13 | 21 |
| 4734 | 15373 | 92,21 | 376,23 | 374,63 | 22 |
| 4734 | 16607 | 93,07 | 400,69 | 399,19 | 22,95 |

Prueba 6

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4738 | 17061 | 6,78 | 0,67 | 0,99 | 0 |
| 4738 | 16872 | 17,33 | 3,96 | 4,75 | 1 |
| 4738 | 16571 | 26,09 | 9,94 | 10,63 | 2 |
| 4738 | 16138 | 32,95 | 18,16 | 19,03 | 3 |
| 4738 | 15626 | 35,38 | 27,82 | 28,97 | 4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4738 | 15030 | 43,94 | 39,03 | 40,64 | 5 |
| 4738 | 14353 | 49,24 | 52 | 53,89 | 6 |
| 4738 | 13592 | 54,36 | 66,42 | 68,69 | 7 |
| 4738 | 12762 | 58,65 | 82,12 | 84,8 | 8 |
| 4738 | 11879 | 62,51 | 98,95 | 101,94 | 9 |
| 4738 | 10941 | 64,08 | 116,72 | 120,04 | 10 |
| 4738 | 9962 | 67,66 | 134,85 | 138,85 | 11 |
| 4738 | 8956 | 70,47 | 154,04 | 158,2 | 12 |
| 4738 | 7916 | 73,54 | 173,96 | 178,17 | 13 |
| 4738 | 6839 | 76,65 | 194,77 | 198,94 | 14 |
| 4738 | 5722 | 79,18 | 216,42 | 220,45 | 15 |
| 4738 | 4554 | 81,72 | 238,81 | 242,99 | 16 |
| 4738 | 3350 | 84,07 | 261,86 | 266,24 | 17 |
| 4738 | 2127 | 85,55 | 285,5 | 289,93 | 18 |
| 4738 | 882 | 88,41 | 309,71 | 314,02 | 19 |
| 4737 | 99586 | 88,64 | 334,4 | 338,96 | 20 |
| 4737 | 98267 | 89,52 | 359,47 | 364,41 | 21 |
| 4737 | 96922 | 91,73 | 384,66 | 390,35 | 22 |
| 4737 | 96109 | 94,66 | 400,32 | 406,12 | 22,6 |

Prueba 7

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4739 | 6265 | 0 | 0,52 | 0,6 | 0 |
| 4739 | 6254 | 6,32 | 1,01 | 0,89 | 1 |
| 4739 | 6138 | 18,03 | 4,39 | 4,15 | 2 |
| 4739 | 5939 | 26,14 | 10,45 | 10,16 | 3 |
| 4739 | 5664 | 33,33 | 18,75 | 18,4 | 4 |
| 4739 | 5315 | 36,31 | 28,46 | 28,02 | 5 |
| 4739 | 4905 | 43,79 | 39,76 | 39,4 | 6 |
| 4739 | 4433 | 49,42 | 52,78 | 52,41 | 7 |
| 4739 | 3871 | 55,71 | 67,51 | 67,7 | 8 |
| 4739 | 3262 | 60,43 | 83,66 | 84,22 | 9 |
| 4739 | 2630 | 64,28 | 101,02 | 101,55 | 10 |
| 4739 | 1980 | 65,71 | 118,93 | 119,55 | 11 |
| 4739 | 1273 | 69,91 | 137,8 | 138,79 | 12 |
| 4739 | 511 | 73,77 | 157,78 | 159,14 | 13 |
| 4738 | 99741 | 77,47 | 178,82 | 180,36 | 14 |
| 4738 | 98939 | 80,75 | 200,83 | 202,41 | 15 |
| 4738 | 98083 | 84,37 | 223,78 | 225,27 | 16 |
| 4738 | 97188 | 86,83 | 247,55 | 248,96 | 17 |
| 4738 | 96239 | 89,88 | 272,08 | 273,76 | 18 |
| 4738 | 95254 | 92,13 | 297,39 | 299,24 | 19 |
| 4738 | 94222 | 94,21 | 323,29 | 325,08 | 20 |
| 4738 | 93156 | 95,8 | 349,7 | 351,55 | 21 |
| 4738 | 92081 | 98,59 | 376,78 | 378,76 | 22 |
| 4738 | 91143 | 100,66 | 400,31 | 402,27 | 22,85 |

Prueba 8

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 96751 | 0,86 | 0,17 | 1,18 | 0 |
| 4733 | 96673 | 11,09 | 1,99 | 2,1 | 1 |
| 4733 | 96913 | 23,3 | 6,88 | 6 | 2 |
| 4733 | 97279 | 30,7 | 14,43 | 13,14 | 3 |
| 4733 | 97738 | 37 | 23,91 | 22,34 | 4 |
| 4733 | 98261 | 42,54 | 34,66 | 32,88 | 5 |
| 4733 | 98886 | 48,08 | 47,23 | 45,41 | 6 |
| 4733 | 99583 | 52,83 | 61,28 | 59,35 | 7 |
| 4734 | 353 | 57,57 | 76,63 | 74,77 | 8 |
| 4734 | 1179 | 61,39 | 93,15 | 91,35 | 9 |
| 4734 | 2052 | 64,46 | 110,66 | 108,91 | 10 |
| 4734 | 2955 | 64,85 | 128,69 | 127,05 | 11 |
| 4734 | 3904 | 69,58 | 147,53 | 145,89 | 12 |
| 4734 | 4901 | 72,69 | 167,29 | 165,7 | 13 |
| 4734 | 5934 | 75,73 | 187,88 | 186,29 | 14 |
| 4734 | 7007 | 78,34 | 209,27 | 207,61 | 15 |
| 4734 | 8107 | 80,83 | 231,38 | 229,58 | 16 |
| 4734 | 9248 | 83,05 | 254,13 | 252,35 | 17 |
| 4734 | 10419 | 85 | 277,51 | 275,78 | 18 |
| 4734 | 11610 | 87,1 | 301,46 | 299,68 | 19 |
| 4734 | 12837 | 89,09 | 325,93 | 324,14 | 20 |
| 4734 | 14092 | 90,69 | 350,83 | 349,13 | 21 |
| 4734 | 15373 | 92,21 | 376,23 | 374,63 | 22 |
| 4734 | 16607 | 93,07 | 400,69 | 399,19 | 22,95 |

Prueba 9

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4733 | 87449 | 0 | 0,02 | 0,84 | 0 |
| 4733 | 87519 | 14,73 | 1,77 | 1,99 | 1 |
| 4733 | 87812 | 25,49 | 7,59 | 7,13 | 2 |
| 4733 | 88219 | 32,98 | 15,8 | 15,05 | 3 |
| 4733 | 88707 | 35,73 | 25,56 | 24,63 | 4 |
| 4733 | 89294 | 44,96 | 36,98 | 36,19 | 5 |
| 4733 | 89960 | 51,2 | 50,25 | 49,39 | 6 |
| 4733 | 90703 | 55,62 | 65,05 | 64,1 | 7 |
| 4733 | 91514 | 60,1 | 81,15 | 80,15 | 8 |
| 4733 | 92392 | 63,93 | 98,39 | 97,46 | 9 |
| 4733 | 93326 | 67,31 | 116,6 | 115,84 | 10 |
| 4733 | 94295 | 67,07 | 135,38 | 134,93 | 11 |
| 4733 | 95296 | 71,4 | 154,71 | 154,7 | 12 |
| 4733 | 96319 | 74,43 | 175,06 | 175,03 | 13 |
| 4733 | 97386 | 77,59 | 196,28 | 196,3 | 14 |
| 4733 | 98499 | 79,99 | 218,23 | 218,61 | 15 |
| 4733 | 99630 | 84,56 | 241 | 241,37 | 16 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 798 | 85,97 | 264,52 | 264,89 | 17 |
| 4734 | 2011 | 87,7 | 288,69 | 289,26 | 18 |
| 4734 | 3250 | 89,93 | 313,4 | 314,14 | 19 |
| 4734 | 4512 | 91,92 | 338,66 | 339,4 | 20 |
| 4734 | 5796 | 93,92 | 364,44 | 365,03 | 21 |
| 4734 | 7089 | 95,32 | 390,71 | 390,96 | 22 |
| 4734 | 7547 | 95,53 | 399,96 | 400,14 | 22,35 |

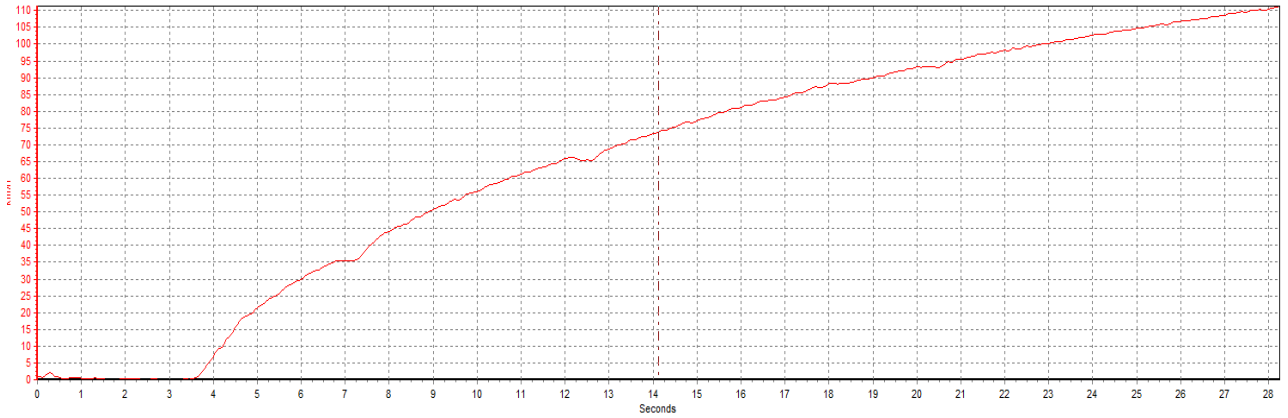
Prueba 10

| [data] | long | velocity | distance | gps-dist | inc-time |
|---|---|---|---|---|---|
| 4734 | 30539 | 0,35 | 0,35 | 7,61 | 0 |
| 4734 | 30445 | 16,53 | 2,51 | 9,19 | 1 |
| 4734 | 30163 | 26,4 | 8,55 | 14,48 | 2 |
| 4734 | 29751 | 33,99 | 17,01 | 22,54 | 3 |
| 4734 | 29257 | 39,84 | 26,98 | 32,29 | 4 |
| 4734 | 28654 | 47,99 | 39,3 | 44,24 | 5 |
| 4734 | 27949 | 53,54 | 53,45 | 58,24 | 6 |
| 4734 | 27157 | 58,99 | 69,14 | 73,94 | 7 |
| 4734 | 26289 | 63,57 | 86,22 | 91,16 | 8 |
| 4734 | 25357 | 65,37 | 104,35 | 109,57 | 9 |
| 4734 | 24374 | 71,49 | 123,45 | 129,08 | 10 |
| 4734 | 23345 | 75,58 | 143,87 | 149,56 | 11 |
| 4734 | 22274 | 79,65 | 165,42 | 170,93 | 12 |
| 4734 | 21141 | 83,19 | 188,04 | 193,45 | 13 |
| 4734 | 19958 | 86,51 | 211,52 | 217,09 | 14 |
| 4734 | 18742 | 88,74 | 235,93 | 241,41 | 15 |
| 4734 | 17473 | 91,89 | 260,99 | 266,81 | 16 |
| 4734 | 16171 | 93,16 | 286,79 | 292,75 | 17 |
| 4734 | 14833 | 97,08 | 313,35 | 319,36 | 18 |
| 4734 | 13460 | 99,34 | 340,63 | 346,78 | 19 |
| 4734 | 12053 | 101,52 | 368,53 | 374,9 | 20 |
| 4734 | 10632 | 103,83 | 397,05 | 403,42 | 21 |
| 4734 | 10488 | 103,97 | 399,94 | 406,31 | 21,1 |

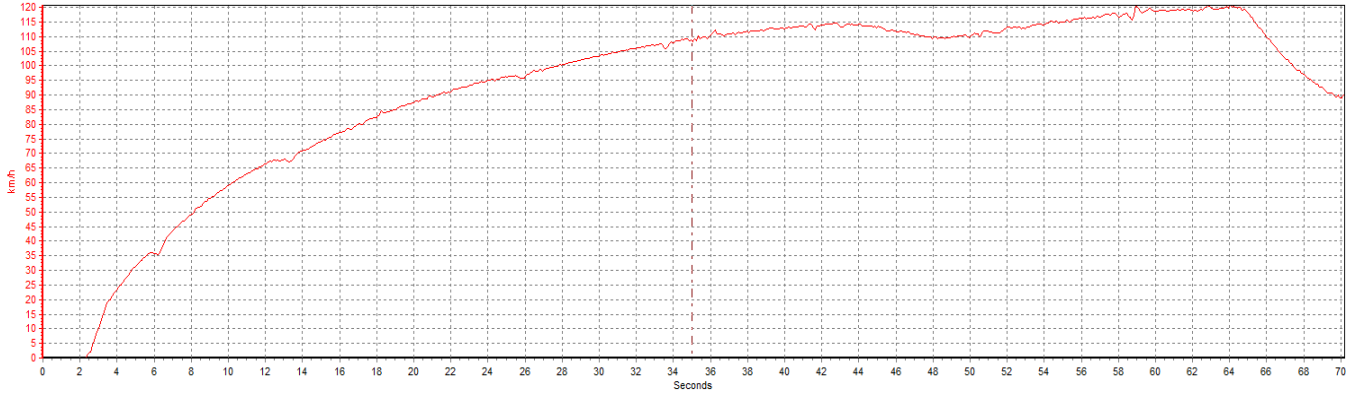
Fuente (Sport)

Anexo 25.- Gráficas de performance box tools con la caja de engranes rectos

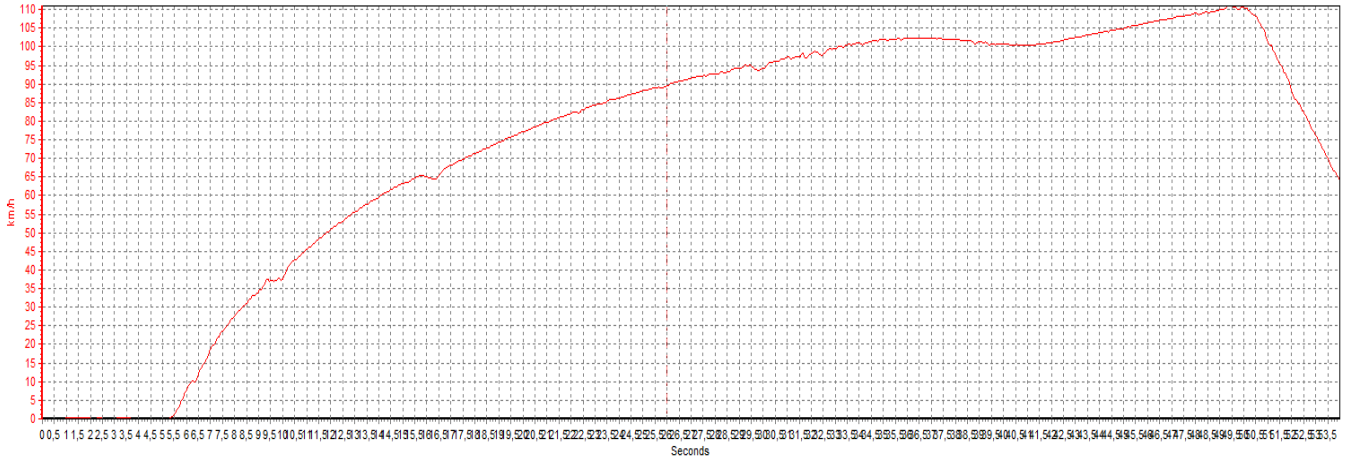
Gráfica 1



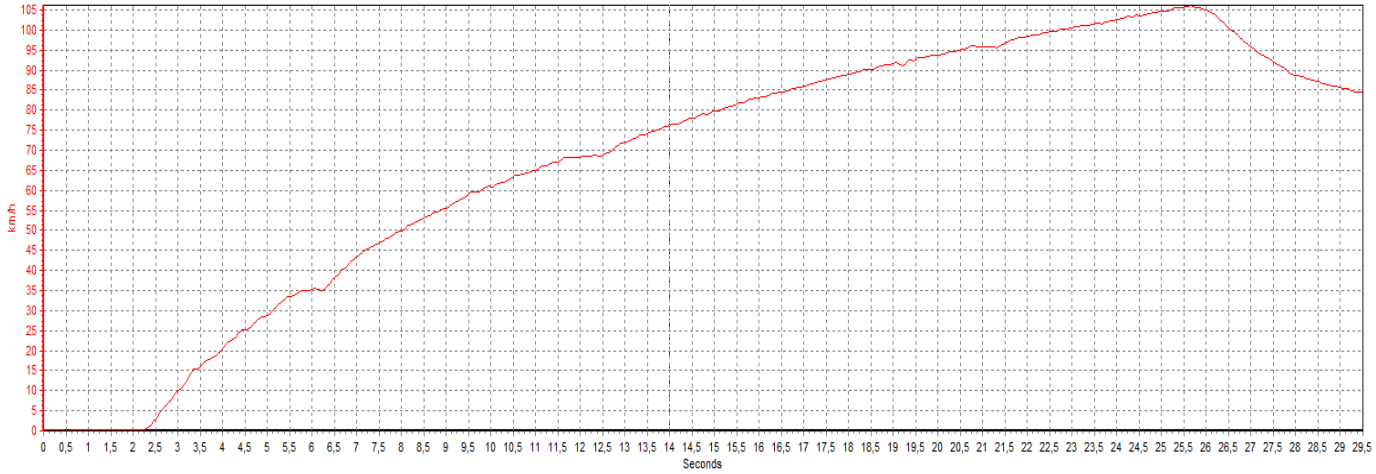

Gráfica 2



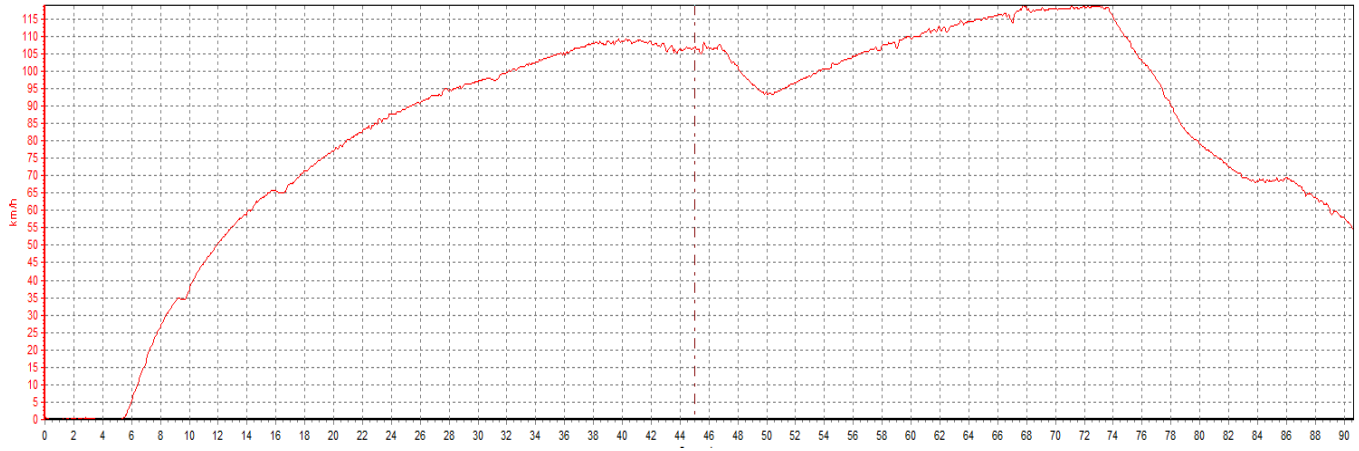
Gráfica 3



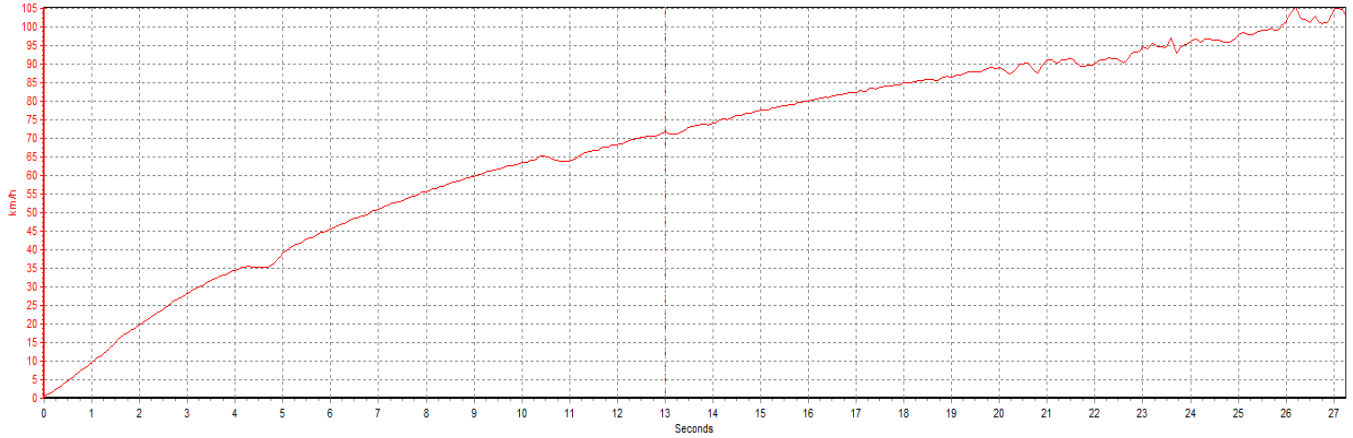

Gráfica 4



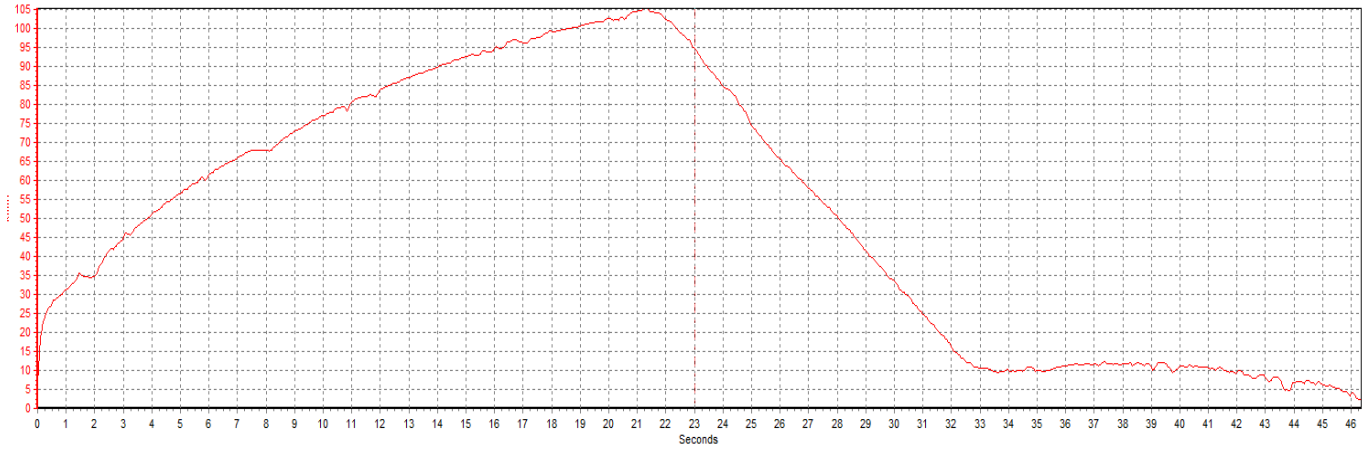
Gráfica 5



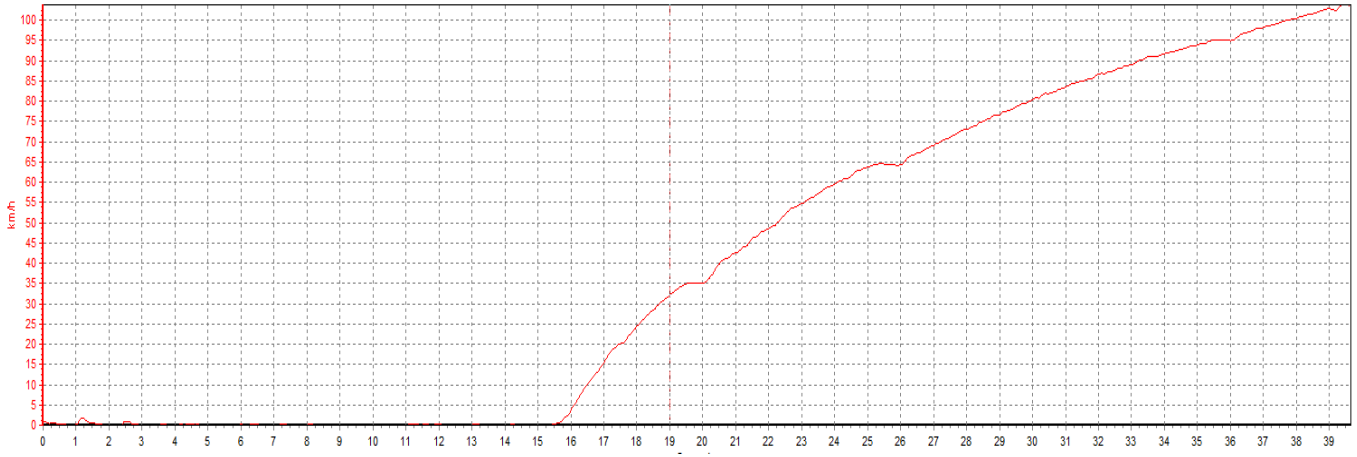

Gráfica 6



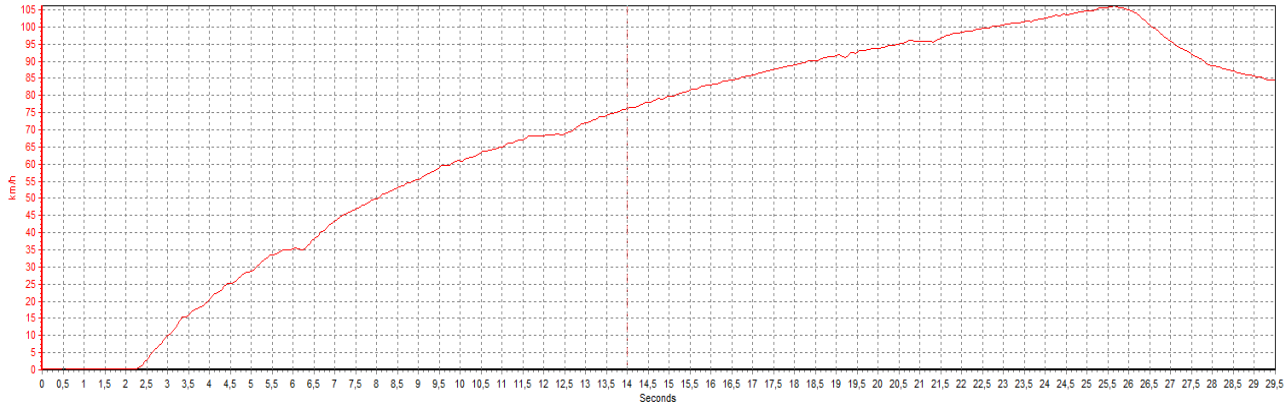
Gráfica 7



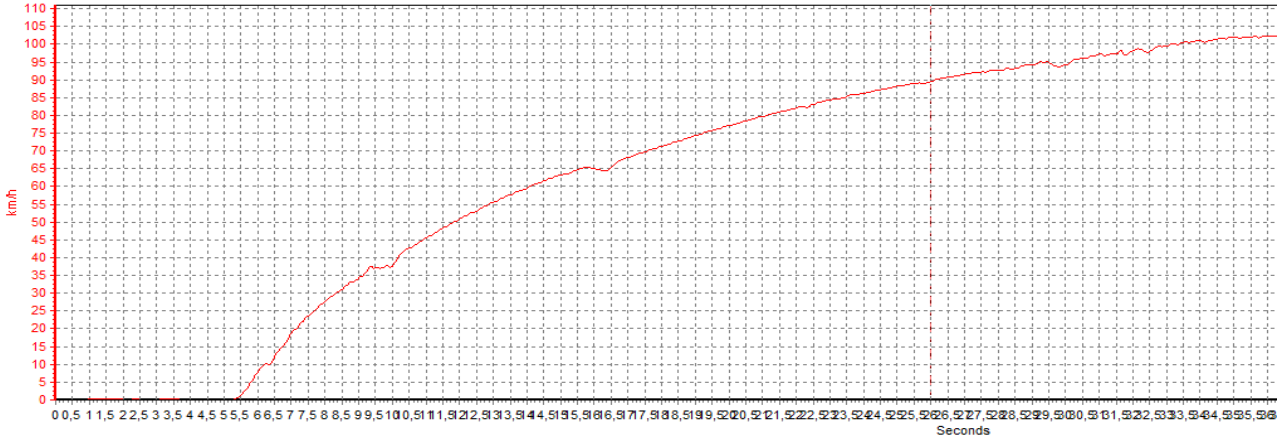

Grafica 8



Gráfica 9




Gráfica 10




Fuente (Sport)