

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN  
INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR**

**EDUARDO JOSÉ ESCOBAR VALLECILLOS**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1,999**

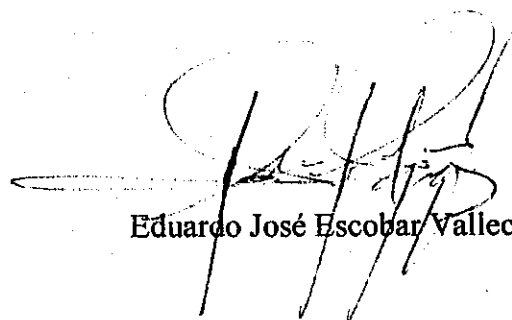


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

### **REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial con fecha 19 de noviembre de 1,998.



Eduardo José Escobar Vallecillos

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

**DECANO:** Ing. Herbert René Miranda Barrios  
**VOCAL I:** Ing. José Francisco Gómez Rivera  
**VOCAL II:** Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
**VOCAL III:** Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana  
**VOCAL IV:** Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán  
**VOCAL V:** Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal  
**SECRETARIA:** Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN**  
**GENERAL PRIVADO**

**DECANO:** Ing. Herbert René Miranda Barrios  
**EXAMINADOR:** Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas  
**EXAMINADOR:** Ing. Alfonso René Aguilar Marroquín  
**EXAMINADOR:** Ing. Luis Emilio Rodas Samayoa  
**SECRETARIA:** Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

Guatemala, 10 de agosto de 1,999.

Ing. Francisco Gómez  
Coordinador del Área Administrativa  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Su Despacho

Ingeniero Gómez:

Atentamente me dirijo a usted, para informarle que ha sido concluido satisfactoriamente el trabajo de tesis titulado: **REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA**, elaborado por el estudiante Eduardo José Escobar Vallecillos, tema para el cual fui asignado como asesor.

Considero que se han cumplido las metas propuestas al inicio del trabajo por lo que recomiendo se apruebe el trabajo en el entendido de que el autor y el suscrito son los responsables de lo tratado y de las conclusiones del mismo.

Atentamente,



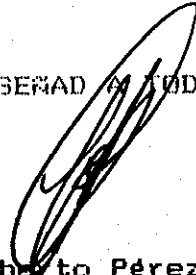
M.A. Ing. Omar Izaú Urrutia Gramajo  
ASESOR  
Colegiado No. 3600



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor de esta Tesis de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor de Tesis al trabajo de tesis titulado REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA, presentado por el estudiante universitario Eduardo José Escobar Vallecillos, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑANZA A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre de 1999.

ends



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Revisor de Tesis y del Licenciado en Letras, al trabajo de tesis titulado **REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Eduardo José Escobar Vallecillos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

Y ENSEÑAR A TODOS

  
Ing. Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR  
INGENIERIA MECANICA INDUSTRIAL



Guatemala, septiembre de 1999.

emds



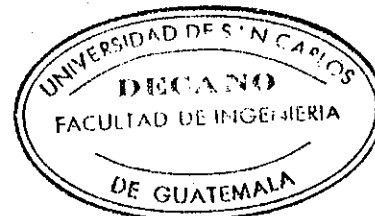
FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de tesis titulado **REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Eduardo José Escobar Vallecillos**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO

Guatemala, septiembre de 1999



emds

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

Por todas las bendiciones derramadas en el transcurso de mi vida.

### **A LA VIRGEN MARÍA**

Por ser mi guía en cualquier camino y momento.

### **A MI MADRE**

- Rosita - lo más grande e importante que tengo en esta vida, pues sin su ayuda y apoyo brindado en los buenos y malos momentos no hubiera logrado llegar a este punto.



## **AGRADECIMIENTO**

- A la Facultad de Ingeniería, por haberme dado todos los conocimientos académicos adquiridos durante los años de estudios universitarios.
- A mi asesor de tesis Ing. Omar Urrutia, por su apoyo profesional en la realización de este trabajo, así como su amistad durante estos últimos años.
- A toda mi familia, por la confianza depositada en mí, para salir adelante durante mi carrera universitaria.
- A mi hermana - Cecy - por su cariño y apoyo durante toda nuestra vida.
- A mi novia - Lelos - por su amor, apoyo y comprensión durante la elaboración de este trabajo.
- A mi abuelita - Monchita - por todo su amor y sus oraciones, que me han ayudado a salir adelante.
- Muy especialmente y con mucho cariño a todos mis amigos y compañeros de estudios: Beto, Chafa, Choco, Gustavito, Juancho, Quincho, Papex, Pedro, Mamex, Ruthia y Wenda, por todo el apoyo de estos años de estudio.
- A mis amigos de toda la vida: Allan, Erwin, Hugo, Jenner, Pedro y Tavo por su amistad incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
OBJETIVOS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes históricos	1
1.2 Aspectos teóricos y técnicos	2
1.2.1 Características de los componentes actuales	13
1.2.1.1 Motor	13
1.2.1.2 Clutch	15
1.2.1.3 Caja de velocidades	16
1.2.1.4 Ejes traseros	19
1.2.1.5 Suspensión	21
1.2.2 Condiciones de trabajo	22
1.2.3 Factores de diseño	23
2. SITUACIÓN ACTUAL	24
2.1 Ficha técnica de componentes actuales	24
2.2 Base de datos de componentes actuales	25
2.3 Condiciones actuales de trabajo	25
2.3.1 Horas de trabajo	25
2.3.2 Kilometraje	27

2.3.3	Pendientes	27
2.3.4	Cargas	27
2.4	Desempeño actual	28
2.4.1	Tracción efectiva neta (TEN)	28
2.4.2	Estartabilidad	29
2.4.3	Gradeabilidad	30
3.	ANÁLISIS PARA EL NUEVO DISEÑO	35
3.1	Componentes básicos posibles a rediseñar	35
3.2	Parámetros de rediseño	35
3.2.1	Torque de salida del motor	36
3.2.2	Eficiencia del motor	37
3.2.3	Eficiencia de los engranajes	37
3.2.4	Radio de las llantas	37
3.2.5	Resistencia de rodaje	38
3.2.6	Peso bruto combinado (GWC)	38
3.2.7	Suspensión	38
3.2.8	Reducción total	39
3.3	Cálculos del aumento en parámetros de rediseño	42
3.3.1	Tracción efectiva neta (TEN)	43
3.3.2	Estartabilidad	43
3.3.3	Gradeabilidad	44
4.	PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO	47
4.1	Componentes a rediseñar	47
4.1.1	Embrague automático del ventilador	47
4.1.2	Canasta de clutch	49
4.1.3	Ejes traseros	50
4.2	Presupuesto	52
4.3	Costos de operación	53

4.4	Cálculos financieros	55
4.4.1	Valor actual neto	56
4.4.2	Tasa interna de retorno	57
5.	IMPLANTACIÓN	58
5.1	Instalación de componentes de rediseño	58
5.2	Prueba piloto	59
5.2.1	Fallas	60
5.2.2	Pesos	60
5.2.3	Combustible	61
5.2.4	Potencia	61
6.	RESULTADOS DEL REDISEÑO	62
6.1	Análisis de ventajas y diferencias	62
6.1.1	Costos de operación	64
6.1.2	Rendimiento con rediseño	66
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS	70
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	73

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Base de datos de componentes actuales	26
II	Base de datos de parámetros actuales	34
III	Comparativo de parámetros, motores 315 hp vrs. motores 400 hp	36
IV	Ratios por modelos de ejes	42
V	Comparativo de parámetros actuales vrs. rediseño	45
VI	Base de datos de parámetros con rediseño	46
VII	Comparativo de parámetros situación actual-rediseño	66

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
<b>C</b>	Eficiencia de engranajes.
<b>E</b>	Eficiencia en el tren de potencia.
<b>G</b>	Gradeabilidad
<b>GCW</b>	Peso bruto combinado en libras.
<b>HP</b>	Caballos de potencia. 1 caballo de potencia equivale a la habilidad de mover 33,000 libras, una distancia de 1 pie, en un tiempo de 1 minuto.
<b>MPH</b>	Millas por hora.
<b>R</b>	Reducción total. Se multiplica cada reducción para obtener este número, tales como la transmisión, transmisión auxiliar y el ratio del eje trasero.
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto.
<b>RR</b>	Resistencia al rodamiento. En porcentaje.
<b>S</b>	Estartabilidad en porcentaje. Porcentaje de pendiente en el cual un vehículo puede arrancar desde el reposo.
<b>slr</b>	Radio de la llanta en carga estática en pulgadas.
<b>T</b>	Torque en libras pie.
<b>Tce</b>	Torque en el clutch mientras se está embragando en libras pie.
<b>TEN</b>	Tracción efectiva neta en libras pie.
<b>TGR</b>	Grado total de resistencia en % de pendiente.

## GLOSARIO

- Carrier** Se llama al conjunto completo de catarina, bloqueo del diferencial y diferencial de los ejes traseros de un cabezal.
- Catarina** Conjunto de engranajes 'corona y piñón' montados en el eje trasero, los cuales regulan la velocidad y el torque en el vehículo, lo transmiten a las llantas para el desplazamiento del mismo.
- Dolly** Es el equipo auxiliar, el cual va situado entre la primera y segunda jaula y, tiene la función de sujetarse en la parte trasera de la primera jaula y servir como ejes delanteros de la segunda jaula, la cual va montada en éste por medio de una quinta rueda o tornamesa.
- Estartabilidad** Llamada también habilidad en pendiente y es la medida de la capacidad de un vehículo para el arranque o ascenso en una pendiente a partir del reposo, expresada en porcentaje de pendiente.
- Gradeabilidad** Es la medida de la capacidad de un vehículo para el ascenso en una pendiente partiendo de una velocidad mayor de cero, expresada en porcentaje de pendiente.

**Peso bruto combinado (GWC)** Máxima cantidad en kilos o libras que puede pesar un camión listo para salir a la carretera, con el chofer a bordo y una dotación completa de combustible, aceite, agua para el radiador y cargado a su capacidad normal de operación. Esto incluye el peso del camión, peso del equipo de arrastre, sus auxiliares y peso de la carga útil.

**Reducción total** Se dice que es la reducción de velocidad entre dos sistemas (motor a caja principal, caja principal a caja auxiliar, caja auxiliar a eje trasero) y su valor es el resultado de su multiplicación.

**Tracción efectiva neta (TEN)** Es el torque enviado de las llantas hacia el suelo y el producto del torque neto del motor y la reducción total del camión dividido por el radio de las llantas (con el camión cargado) menos el torque que se pierde por la resistencia de rodaje.

**Zafra** Periodo comprendido entre noviembre y mayo, en el que se realiza el corte de caña en ingenios azucareros para su transformación en azúcar y subproductos.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el rediseño en los componentes de camiones usados para lograr un aumento en el desempeño y una disminución en los costos de operación, el cual se justifica por medio de un estudio de factibilidad técnica y financiera.

### **ESPECÍFICOS**

1. Aumentar la cantidad de carga transportada de los cabezales durante el período de zafra.
2. Disminuir el costo de operación por tonelada/kilómetro transportada en la operación de transporte de caña.
3. Determinar la viabilidad técnica y financiera del proyecto.

## INTRODUCCIÓN

El rediseño de camiones usados en ingenios azucareros de Guatemala, consiste en el reacondicionamiento de componentes principales de los mismos, con los objetivos de aumentar la eficiencia y desempeño y, como consecuencia, disminuir los costos de operación de la flota de transporte.

El objetivo principal de este trabajo de tesis es proporcionar a cualquier persona involucrada en la operación de transporte de caña en algún ingenio de Guatemala, una herramienta, por medio de la cual podrá hacer más eficiente su flota de camiones, en donde se cubren todos los aspectos técnicos específicos para realizar un rediseño de componentes.

Para lograr esto, se presenta en este trabajo de tesis un análisis técnico y financiero el cual demuestra que, este rediseño es factible y, sobre todo, se recupera la inversión a realizar.

El trabajo presenta una reseña histórica del transporte de caña en Guatemala y los diferentes métodos que se han utilizado para el mismo. Posteriormente se exponen las características de los componentes actuales de los camiones, así como las condiciones de trabajo en las cuales se desenvuelven.

Se procede a hacer un análisis de todos los parámetros envueltos en el rediseño y cómo sus cambios afectarían en el desempeño de las unidades. Con base en estas premisas se presenta una propuesta de rediseño, la cual se justifica por medio de un

análisis financiero y pruebas piloto, en donde se obtienen como resultados, incrementos significativos del orden de un 23% en la cantidad de carga transportada y una reducción en los costos reales de operación del orden de un 8.74%.

En este trabajo de tesis se cubren paso a paso todos los puntos importantes y sobre todo, contribuye a un mejor desempeño en la flota de transporte; ya que se obtienen grandes ventajas, lo cual representa un objetivo constante a perseguir por cualquier persona involucrada en el negocio del transporte pesado.

A solicitud de la empresa donde se realizó la prueba piloto, no se menciona su nombre en el presente trabajo.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1. Antecedentes históricos

La producción de azúcar en Guatemala data de muchos años atrás, con diferentes formas para la transportación de la caña de azúcar desde las fincas hacia la fábrica del ingenio y su posterior transformación a producto terminado. Se ha transportado el azúcar desde carretas, animales, tractores, hasta su actual procedimiento con camiones y jaulas de arrastre.

Anteriormente, los ingenios acostumbraban en mayor porcentaje que ahora, recurrir a los servicios de subcontratación de servicio de personas que se dedican al transporte de caña con camiones propios. El aumento excesivo que se dió en la producción de azúcar por parte de los ingenios, así como la necesidad constante de reducción de costos provocó que, éstos, empezarán a adquirir sus propias unidades para el transporte de la caña, por lo que, como primer paso, en lugar de comprar unidades nuevas en las agencias de vehículos locales, recurren a los Estados Unidos de América para adquirir camiones usados en buen estado y a un precio mucho más accesible que lo que podría costar una unidad nueva. Resulta, entonces, que estas unidades usadas en buen estado, tienen componentes mecánicos (motor, caja de velocidades, ejes, suspensión, etc.) diseñados específicamente para operaciones tales como: transporte de combustible, de comida, mercadería, etc. en caminos y terrenos que difieren bastante de los caminos de las fincas de los ingenios y de las carreteras de Guatemala, es decir, la diferencia que puede existir entre una autopista de Estados Unidos y un camino de terracería en una finca o carreteras en mal estado de Guatemala es bastante grande.

Posteriormente, se logra vender la idea de que un camión nuevo, diseñado específicamente para una operación de trabajo pesado, bajo las condiciones en que trabajan en los ingenios, tendrá una mayor rentabilidad y durabilidad, como también una mayor capacidad de carga y disponibilidad de equipo, debido a que no falla lo mismo que un camión usado. Así es como se logra vender en los ingenios los primeros camiones nuevos, los cuales con sus componentes actuales logran demostrar que tienen un mejor desempeño desde cualquier punto de vista. Es así, como nace la idea de tratar de modificar algunos componentes de los camiones y se piensa en convertir algunas partes de los camiones usados lo más parecido posible a las partes de los camiones nuevos, buscando así un mejor desempeño. El problema radica en cambiar o modificar los componentes que incurran en los menores costos, porque es fácil decir que se cambie el motor de un camión, pero este cambio podría no ser económico.

Es así, como con algunos cálculos y pruebas, nace el concepto de REDISEÑO DE CAMIONES USADOS EN INGENIOS AZUCAREROS DE GUATEMALA, buscando una reducción de costos de operación y un aumento de cantidad de carga transportada de los camiones, para lograr una disminución en el costo por kilómetro recorrido.

## **1.2. Aspectos teóricos y técnicos**

Para comprender el porqué de un rediseño de camiones, deben manejarse diferentes conceptos para el fácil entendimiento de los términos y recomendaciones.

Los camiones de servicio pesado se dividen en varias clases; camiones clase 7, para un Peso Bruto Vehicular arriba de 64,000 lbs., camiones clase 8, para un Peso Bruto Vehicular arriba de 150,000 lbs., que son los vehículos en cuestión. Los camiones clase 8 o cabezales como más frecuentemente se conocen son utilizados en diferentes

aplicaciones, para las cuales debería existir un cabezal diseñado con componentes específicos para un desempeño óptimo, según sea esta aplicación. El hecho es que no sucede de esta manera, ya que utilizan cabezales diseñados para otras aplicaciones y no para un trabajo de transporte de caña en condiciones severas.

La parte importante del diseño de cabezales consiste en la relación que debe existir entre el motor, el clutch, la caja de velocidades, eje cardán, los diferenciales y las llantas, los cuales son los componentes en el sistema de potencia, transmisión y suspensión. Es decir, un motor de 400 caballos de potencia necesitará una canasta de clutch que soporte transmitir, eficientemente, toda esta potencia a la caja de velocidades. De la misma manera se necesita una caja de velocidades que haga bien su trabajo al transmitir la potencia para los diferenciales y demás componentes.

El diseño de cabezales, como ya se mencionó, depende de la aplicación de trabajo que se realice, pero, también depende en una gran parte, de las condiciones en las cuales se esté trabajando. Por lo que, se debe tener las siguientes consideraciones para la optimización de la operación:

**1. ¿Qué clase de camión necesita?**

Debe ser un camión completo, un tractor para halar un semi-remolque, un camión con remolque completo.

**2. ¿Qué clase de carga ha de trasportarse?**

Troncos de madera, carbón, asfalto, equipos pesados, petróleo crudo o derivados, caña, ganado en pié, cilindros, etc. Sin esta importante información es imposible determinar el modelo y componentes que harán el mejor trabajo. Y debe familiarizarse

con el peso y el volumen del producto. Un camión volcador que cargue algo tan liviano como cenizas, necesitará componentes totalmente distintos, desde el principio hasta el fin, que un camión volcador que transporte grava.

**3. ¿Existen restricciones legales sobre el peso máximo que puede llevar o halar un camión?**

También puede determinarse el peso bruto del vehículo dependiendo si el camión circulará por carreteras principales, por caminos privados o fuera de carretera.

**4. ¿Qué peso con carga útil desea el cliente transportar o transporta actualmente?**

Esta información es importante para el cálculo de las cargas de los ejes y el peso de la distribución entre los ejes delantero y trasero para la resistencia del chasis, la ubicación de la quinta rueda de un camión y otros detalles.

**5. ¿Sobre qué clase de superficie trabajará el camión?**

Rodará sobre asfalto, terracería, grava, terreno pantanoso o contra surcos y agujeros llenos de barro, etc.

Esta información puede hacer mucha diferencia en las combinaciones de motor y transmisión, en las capacidades de carga de los ejes y en el tipo y tamaño de las llantas.

**6. ¿Cuáles son las pendientes máximas (tanto hacia arriba como hacia abajo) con las que el camión cargado se encontrará?**

Esta información es importante para determinar la potencia del motor, freno de motor, engranajes de transmisión y de eje, sistema de frenos, etc.

Si el camión cargado debiera detenerse en una pendiente ¿podría ponerse de nuevo en marcha? ¿Para qué sirve un camión que no tenga potencia para halar la carga hacia arriba?

**7. ¿A qué velocidad desea que vaya el camión cargado?**

Si las ganancias dependen de un transporte rápido para un tipo de operación desde un lugar a otro, será necesario un vehículo distinto a una operación cuyo interés es transportar cargas pesadas sobre zonas fuera de carretera.

**8. ¿A qué altitud trabajará el camión?**

Esta información representa una diferencia en la selección del motor, ya que los motores no turbocargados pierden potencia en mayores altitudes.

**9. ¿Existen restricciones legales o naturales sobre el peso y las dimensiones?**

Tales como reglamentos de carreteras o limitaciones en puentes o túneles. Esta información puede obtenerse a través del Ministerio de Comunicaciones y Transporte.

**10. ¿Cuáles son las condiciones climáticas?**

¿Es la zona de operación húmeda, seca, calurosa, fría o combinación?. Las altas temperaturas reducen la eficiencia del motor y el clima puede afectar el sistema de enfriamiento, filtros de aire y otros componentes importantes.



**11. ¿Existe alguna preferencia por una marca específica de motor?**

Ya que puede diseñarse un camión antes de adquirirlo querrán considerarse factores como la preferencia de una marca de motor por la disponibilidad de servicio, partes, etc.

**12. ¿Existen limitaciones sobre el ruido o las emisiones?**

Actualmente, están regulando las emisiones de gases para todo tipo de vehículo.

**13. ¿Existe algún tipo de requisito de viraje impuesto por la ley?**

Si no existe viraje impuesto por la ley, entonces, será necesario considerarlo debido a los caminos angostos y tortuosos de zonas limitadas para dar vuelta.

**14. ¿Qué clase de equipo conexo será necesario?**

Una carrocería volcadora (camión de palangana).

Un remolque (plataforma, jaula, furgón).

Una grúa.

Cuanto más se conozca acerca del tamaño, tipo y las condiciones de carga de los equipos conexos, más fácil será diseñar un vehículo nuevo o rediseñar uno ya existente.

De gran importancia es también considerar los siguientes aspectos técnicos que se manejan en un diseño de cabezales nuevos o rediseño de cabezales usados.

**1. ¿Qué tan rápido puede desplazarse?**

$$\text{MPH} = \frac{(\text{RPM}) (r)}{(168) (R)} \quad [\text{Millas/hora}]$$

RPM = Revoluciones por minuto del motor ( diferente por tipo de motor).

r = Radio de la llanta en carga estática (tablas, depende de la medida) en pulgadas.

168 = Constante.

R = Representa el ratio de eje trasero (tablas, tipo).

**2. ¿Qué tanta reducción es necesaria?**

R = La reducción total de un vehículo es el producto de la reducción más profunda de la 1ª velocidad de la caja, por el ratio de la transmisión auxiliar, por el ratio del eje trasero. ( Tablas, depende de marca transmisión y No. velocidades). (1:3).

Nota: todos los símbolos están previamente definidos al principio del trabajo en la Lista de Símbolos. Así, también, al final en la sección de Anexos, se encuentra la tabla de conversiones de medidas del Sistema Inglés al Sistema Internacional.

### 3. ¿Tracción efectiva neta?

Es el torque o fuerza impulsada de las llantas hacia el suelo y el producto del torque neto del motor y la reducción total del camión dividido por el radio de las llantas (con el camión cargado) menos el torque que se pierde por la resistencia de rodamiento. (1:6).

$$TEN = \frac{(12)(T)(E)(C)(R)}{(r)} - \frac{(RR)(GCW)}{100} \text{ [libra-pie]}$$

T = Torque en libras pie de salida del motor. [libras-pie].

E = Eficiencia del motor - 85% en condiciones promedio.

C = Eficiencia promedio de engranajes 85%.

R = Reducción total.

r = Radio de llanta en carga estática (depende medida, tablas). [pulgadas].

RR = Resistencia al rodamiento (según superficie, tablas).[%].

GCW = Peso bruto combinado.[libras].

Una consideración importante al obtener la tracción efectiva neta es determinar la distribución de peso en los ejes traseros, para lo cual:

$$\text{carga eje trasero} = \frac{TEN}{0.6} \text{ [libras-pie]}$$

TEN = Tracción efectiva neta. [libras-pie].

0.6 = Constante promedio coeficiente fricción en superficie mojada.

#### 4. ¿Resistencia al rodamiento?

Está expresada en libras por cada 1,000 lbs. del peso bruto combinado. En una plana, limpia y pavimentada superficie, ésta asciende a, aproximadamente, 15 libras. La siguiente tabla presenta la resistencia al rodamiento para varias superficies. (1:8).

TIPO DE SUPERFICIE	% RESIST. DE RODAMIENTO
Concreto y asfalto	1.5%
Duro y sucio	2.5%
Seco, sucio o grava	3.0%
Sucio, suave	4.0%
Superficie mojada en base firme	4.0%
Arena suelta o grava	10%
Base suave con baches	16%

El valor de la resistencia al rodamiento según las condiciones de terreno de los ingenios será de 3%.

#### 5. ¿Grado de resistencia?

Está expresado en porcentaje. Éste, más la resistencia al rodamiento equivale al total de resistencia necesaria para mover el camión cuesta arriba a un grado de pendiente dado. (1:9).

$$TGR = (GCW)(G + RR) \quad [\text{libras}]$$

$$TGR = \text{Grado total de resistencia. } [\text{libras}].$$

$$GCW = \text{Peso bruto combinado. } [\text{libras}].$$

- G = Grado de pendiente en porcentaje.[%].
- RR = Resistencia al rodamiento.[%].

**6. ¿Cuántos caballos de potencia son necesarios?**

Los caballos de potencia necesarios quedan determinados por la siguiente fórmula:

$$\text{H.P.} = \frac{(\text{GCW})(\text{G} + \text{RR})(\text{MPH})}{27,100} \quad \text{[caballos de potencia]}$$

- H.P. = Caballos de potencia. [hp].
- GCW = Peso bruto combinado. [libras].
- G = Grado de pendiente. [ %].
- RR = Resistencia al rodamiento.[%].
- MPH = Millas por hora.[millas/hora].
- 27,100 = Constante.

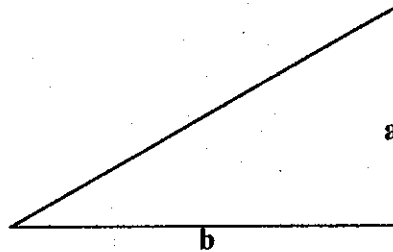
**7. ¿Conversión HP a torque (T)?**

$$\text{T} = \frac{(\text{HP nominal} * 0.85)(5,252.1)}{\text{RPM}} \quad \text{[libras-pie]}$$

**8. ¿Estartabilidad?**

Llamada también Habilidad de arranque en Pendiente, que es la medida de la capacidad de un vehículo para el arranque o ascenso de una pendiente y se expresa en

por ciento de pendiente que es el cociente de la distancia vertical (a) entre la distancia horizontal (b). (4:21).



Por ejemplo, una pendiente de 5% es aquella en que por cada 100 metros de distancia horizontal, la altura vertical es de 5 metros.

Convencionalmente, en la operación de un vehículo se aceptan las siguientes consideraciones, respecto a la habilidad en pendiente. Para el arranque de una unidad en terreno plano, se requiere un mínimo de 10% de habilidad.

Si la unidad arranca en una pendiente, para subirla deberá contar con un 10% adicional al valor de la pendiente. Por ejemplo: si un vehículo va a operar en terrenos donde la pendiente máxima es de 12%, el vehículo deberá tener un mínimo de 22% de habilidad, para el caso en que el vehículo tenga que subir la pendiente máxima partiendo del reposo.

$$S = \frac{1,200(E)(T_{ce})(R)}{(slr)(GWC)} - RR \quad [\%]$$

S = Estartabilidad o habilidad de arranque en pendiente. [%].

E = Eficiencia, del 90% debido a las pérdidas en el tren motriz.

T<sub>ce</sub> = Torque en el clutch mientras se está embragando [lb-pie].

- R = Reducción total.
- slr = Radio de la llanta en carga estática.[plg].
- GCW = Peso bruto combinado.[libras].
- RR = Resistencia al rodamiento.[%].

### 9. ¿Gradeabilidad?

Es la medida de la capacidad de un vehículo para el ascenso en una pendiente, partiendo de una velocidad mayor que cero. (4:22).

$$G = \frac{1,200(E)(T)(R) - RR}{(slr)(GWC)} \quad [\%]$$

- E = Eficiencia, del 90% debido a las pérdidas en el tren motriz.
- Tce = Torque del motor.[libra-pie].
- R = Reducción total.[%].
- slr = Radio de la llanta en carga estática.[plg].
- GCW = Peso bruto combinado.[libras].
- RR = Resistencia al rodamiento.[%].

En lo que a la parte legal se refiere, el Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas, regula los pesos y dimensiones de vehículos en circulación sobre carreteras por medio del Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones, según el Acuerdo Gubernativo No. 1084-92. (5:2).

Lo que se busca con un rediseño de camión es aumentar la cantidad de carga transportada, lo cual sí se logra, pero, a la vez, se separa aún más de los límites máximos

permitidos legalmente, con la diferencia que estos camiones no circularán en carreteras sino que en fincas propias de los ingenios, lo cual no interfiere con el tránsito vehicular y no daña la red vial.

### **1.2.1. Características de los componentes actuales**

Los componentes principales de potencia son los encargados de realizar el trabajo de desplazamiento de la máquina a una velocidad y a un torque proporcional y variable, según sean las características de estos. Se expondrán las características de cada uno de los componentes principales, para comprender el por qué de la relación que debe mantenerse entre éstos, para lograr el desempeño esperado, según sea la aplicación a la cual esté sometido el camión. Los componentes principales son: motor, clutch, caja de velocidades, diferenciales y suspensión.

#### **1.2.1.1. Motor**

El motor, como fuente generadora de potencia, es el encargado de transmitir el torque necesario hacia la caja de velocidades y ésta al resto del sistema.

Los motores diesel utilizados en los ingenios pueden ser de varias marcas: Cummins, Caterpillar, Detroit Diesel, Mack, etc. En Guatemala el más común es el motor diesel Cummins, el cual es el principal para el objeto de estudio de esta tesis.

Los motores Cummins en sus diferentes modelos presentan las siguientes características:



**Modelo: 88BCIV315**

Potencia	315 [hp].
Velocidad de trabajo	1,800 [rpm].
Torque pico @ 1,300 rpm	1,150 [libras-pie].
Número de cilindros	6.
Desplazamiento del pistón	855 [plg <sup>3</sup> ].[14,000 c.c.]
Capacidad del sistema de lubricación de aceite	11 U.S. [gal.].[42 lts].

**Modelo: 88BCIV350**

Potencia	350 [hp].
Velocidad de trabajo	1,800 [rpm].
Torque pico @ 1,300 rpm	1,175 [libras-pie].
Número de cilindros	6.
Desplazamiento del pistón	855 [plg <sup>3</sup> ].
Capacidad del sistema de lubricación de aceite	11 U.S. [gals.].[42 lts.].

**Modelo: NTC855F300**

Potencia	300 [hp].
Velocidad de trabajo	1,800 [rpm].
Torque pico @ 1,300 rpm	1,000 [libras-pie].
Número de cilindros	6.
Desplazamiento del pistón	855 [plg <sup>3</sup> ]

Capacidad del sistema de  
lubricación de aceite 11 U.S. [gals.].[42 lts].

**Modelo: 88BCIV400**

Potencia 400 [hp].  
Velocidad de trabajo 1,900 [rpm].  
Torque pico @ 1,300 rpm 1,250 [libras-pie].  
Número de cilindros 6.  
Desplazamiento del pistón 855 [plg<sup>3</sup>].  
Capacidad del sistema de  
lubricación de aceite 11 U.S. [gals.].[42 lts].

**1.2.1.2. Clutch**

Lo importante de la canasta de clutch es la capacidad de torque de entrada que tenga, para una buena transmisión de la velocidad y torque desde el motor hacia la caja de velocidades.

**Modelo: PC107034**

**Características.**

- Disco de clutch de 14 pulgadas de diámetro, con fricciones de revestimiento de material orgánico.
- Centro de los discos de 2 pulgadas, con estría ordinaria de 10 dientes para el eje propulsor de la entrada de la caja de velocidades.
- Discos con centros fijos (no resortados) con poca absorción de vibración.
- Capacidad de torque de 1,800 libras pie.

**Modelo: 108391-77 Free Travel**

**Características.**

- Disco de clutch de 15 1/2 pulgadas de diámetro, con fricciones de revestimiento de material cerámico.
- Centro de los discos de 2 pulgadas, con estría ordinaria de 10 dientes para el eje
- propulsor de la entrada de la caja de velocidades.
- Discos con centros resortados, con bastante absorción de vibración.
- Capacidad de torque de 3,200 libras pie.

**1.2.1.3. Caja de velocidades**

De ésta depende la transmisión de la velocidad y torque, así como la caída de revoluciones, reducción total de velocidad y aumento de torque hacia el sistema del diferencial.

Modelos de cajas de velocidades existen en diferentes marcas: Eaton Fuller, Spicer y otras. En Guatemala la más común es la Eaton Fuller, para lo cual se presentan las características de las cajas más comunes en el mercado y, específicamente, para el mercado de los ingenios.

**Modelo: RT14607B**

**Características.**

- Doble eje selectivo (counter shaft).
- 1,400 lbs-pie de torque máximo nominal.
- Engranajes de dientes helicoidales.
- Siete velocidades para adelante y una reversa.

- 12.35 de ratio de la primera velocidad con un 73% de reducción de velocidad.
- Capacidad del sistema de lubricación de 14 litros.

**Modelo: RT12609A, RTX12609B, RT12609P & RTX12609R**

**Características.**

- Doble eje selectivo (counter shaft).
- 1,400 lbs-pie de torque máximo nominal.
- Engranajes de dientes oblicuos.
- Nueve velocidades para adelante y una reversa.
- 12.65 de ratio de la primera velocidad con un 51% de reducción de velocidad para los modelos RT12609A y RT12609P.
- 12.57 de ratio de la primera velocidad con un 68% de reducción de velocidad para el modelo RTX12609B.
- 10.70 de ratio de la primera velocidad con un 39% de reducción de velocidad para el modelo RTX12609R.
- Capacidad del sistema de lubricación de 13 litros.

Estos modelos sólo difieren por el nivel de diseño del fabricante, que depende de la fábrica o del año de manufactura (denotado por las letras A, B y X) La letra P al final significa que estas cajas de velocidades poseen bomba de autolubricación de aceite.

**Modelo: RT11715**

**Características.**

- Doble eje selectivo (counter shaft).
- 1,150 lbs-pie de torque máximo nominal.
- Engranajes de dientes helicoidales.
- Quince velocidades para adelante y una reversa.
- 9.96 de ratio de la primera velocidad con un 31% de reducción de velocidad.
- Capacidad del sistema de lubricación de 14 litros.

**Modelo: RT11609A**

**Características.**

- Doble eje selectivo (counter shaft).
- 1,150 lbs-pie de torque máximo nominal.
- Engranajes de dientes oblicuos.
- Nueve velocidades para adelante y una reversa.
- 12.65 de ratio de la primera velocidad con un 51% de reducción de velocidad.
- Capacidad del sistema de lubricación de 13 litros.

**Modelo: RT14609A & RTX14609P**

**Características.**

- Doble eje selectivo (counter shaft).
- 1,400 lbs-pie de torque máximo nominal.
- Engranajes de dientes oblicuos.

- Nueve velocidades para adelante y una reversa.
- 10.70 de ratio de la primera velocidad con un 39% de reducción de velocidad para el modelo RTX14609P.
- 12.65 de ratio de la primera velocidad con un 51% de reducción de velocidad para el modelo RT14609A.
- Capacidad del sistema de lubricación de 13 litros.

#### **1.2.1.4. Ejes traseros**

En estos se encuentra ubicada la “catarina” y es aquí donde radica la parte más crítica de la transmisión de velocidad y torque hacia las llantas. Dependerá del ratio de la corona y piñon de la misma, a mayor ratio, mayor será el torque y menor la velocidad y viceversa si el ratio es menor.

**Modelo: Rockwell SQ-100**

#### **Características.**

- Eje delantero QD-100
- Eje trasero QR-100
- Eje para unidades de 6 zapatas.
- Capacidad de 38-40,000 lbs.
- Engranajes de tipo hipoidal simple reducción.
- Capacidad del sistema de lubricación de 18 litros.

**Modelo: Rockwell SQ-100P**

**Características.**

- Eje delantero QP-100.
- Eje trasero QR-100.
- Eje para unidades de 6 zapatas.
- Capacidad de 38-40,000 lbs.
- Engranajes de tipo hipoidal simple reducción.
- Carrier con bomba de lubricación de aceite (denotado por la letra P).

**Modelo: Eaton 402**

**Características.**

- Eje delantero DS402.
- Eje trasero RS402.
- Eje para unidades de 6 zapatas.
- Capacidad de 40,000 lbs.
- Engranajes de tipo hipoidal simple reducción.

**Modelo: Eaton 402P**

**Características.**

- Eje delantero DS402P.
- Eje trasero RS402P.
- Eje para unidades de 6 zapatas.

- Capacidad de 40,000 lbs.
- Engranajes de tipo hipoidal simple reducción.
- Carrier con bomba de lubricación de aceite (denotado por la letra P).

#### **1.2.1.5. Suspensión**

Es el componente encargado de soportar y amortiguar la carga transportada por el camión. Existen suspensiones de muelles de resorte, bolsas de suspensión de aire y otras, pero los modelos más comunes son los siguientes:

**Modelo:      Reyco 102**

Características.

- Capacidad de 38,000 libras.
- Suspensión de hojas de resorte.
- Balancines y brazos tensores que regulan el movimiento de la suspensión.
- Hojas de resorte sobre el eje tandem.

**Modelo:      Airglide 100**

Características.

- Capacidad de 36 - 38,000 libras.
- Suspensión de ocho bolsas de aire.
- Bolsas de aire alimentadas por medio del compresor de aire del sistema.



**Modelo: UE340**

Características.

- Capacidad de 34,000 libras
- Suspensión de hojas de resorte.
- Brazo tensor y bujes de suspensión por debajo del eje tandem.

**Modelo: UE380**

Características.

- Capacidad de 38,000 libras.
- Suspensión de hojas de resorte.
- Brazo tensor y bujes de suspensión por debajo del eje tandem.

### **1.2.2. Condiciones de trabajo**

Al decir condiciones de trabajo, se refiere a la situación bajo la cual se está efectuando la transportación de la caña, es decir, cuántas horas se están trabajando al día, qué recorridos y distancias se realizan, la cantidad de carga, etc.

Estos factores son indispensables para identificar los componentes más adecuados para soportar el ritmo de trabajo eficientemente y que el camión no sufra desgaste anormal, ya que, siempre existen condiciones de trabajo más fuertes que otras, dependiendo del tipo de actividad que se desarrolla. La transportación de caña es una de las más severas que existen, tanto por la cantidad excesiva de carga a los camiones, como, por las condiciones de terreno de las fincas, las cuales se tornan más críticas al estar finalizando el tiempo de zafra (finales de abril, aproximadamente), ya que es

cuando se empiezan a presentar las primeras lluvias del invierno, el suelo se pone más lodoso y los camiones se quedan atascados con mayor frecuencia.

Todos estos detalles son importantes y deben tomarse en cuenta a la hora de tomar alguna decisión de rediseño de algún componente del camión.

### **1.2.3. Factores de diseño**

Luego de haberse definido las condiciones de trabajo imperantes en la operación de transportación de caña o cualquiera que fuere, se procede a diseñar o rediseñar la unidad.

Para lo anterior se busca aumentar la cantidad de carga transportada de los camiones, sin descuidar el costo por kilómetro.

Para lograr lo expuesto se necesita buscar el aumento de la tracción efectiva neta de trabajo, la estartabilidad y la gradeabilidad, las cuales están relacionadas directamente con parámetros como: torque de salida del motor, eficiencia del motor, eficiencia de los engranajes, reducción total, etc.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

### 2.1. Ficha técnica de componentes actuales

Para tener un buen control de la flota es sumamente importante tener una ficha técnica, la cual da una guía fácil y rápida de los componentes que posee cada camión. En esta misma ficha se deberá llevar el control de la cadena de cambios y modificaciones que el camión pudo haber sufrido en algún momento determinado, por ejemplo: este tipo de rediseño en estudio.

<b>FICHA TÉCNICA CABEZALES CAÑEROS INGENIO</b>	
<b>Número de unidad:</b>	00001
<b>Marca:</b>	Kenworth
<b>Color:</b>	Café
<b>Año:</b>	1,988
<b>Marca del motor:</b>	Cummins
<b>No. de serie del motor:</b>	11449369
<b>Modelo del motor:</b>	88BCIV315
<b>No. de serie del chasis:</b>	S511255
<b>Modelo de canasta de clutch:</b>	PC107034
<b>Modelo de caja de velocidades:</b>	RT14607B
<b>Modelo del diferencial:</b>	QD100-QR100
<b>Ratio del diferencial:</b>	3.73
<b>Modelo de suspensión:</b>	REYCO 102
<b>Diámetro de llantas</b>	24.5 pulgadas, Rin 24.5

## **2.2. Base de datos de componentes actuales**

La ficha técnica anteriormente presentada se utiliza para ver un camión específico, pero, cuando las flotas son muy grandes se tiene una base de datos, donde se encuentra tabulada toda la información en una sola hoja electrónica, que permita consultar la flota completa.

La tabla No. I presenta la base de datos de todos los componentes actuales de la flota.

## **2.3. Condiciones actuales de trabajo**

Como se mencionó, anteriormente, las condiciones de trabajo son importantes para el rediseño de la unidad. A continuación se presenta un detalle de las condiciones actuales en las cuales se encuentran trabajando los camiones del Ingenio.

### **2.3.1. Horas de trabajo**

Los camiones del Ingenio trabajan hasta 21 horas al día durante la época de zafra, exceptuando el tiempo que requiere efectuar los diferentes mantenimientos preventivos, así como el tiempo que se tardan los camiones en la cola que realizan para entregar la caña a la fábrica de producción.

En promedio, trabajan entre 19 y 20 horas al día. Este promedio, claro está, no toma en cuenta el tiempo que pudiera llegar a perder en algún mantenimiento correctivo, ya que éste es muy difícil de estipular, debido a que nunca se sabe cuándo fallará la unidad.

**Tabla No. I. Base de datos de componentes actuales**

CODIGO	MARCA	MODELO	COLOR	AÑO	Nº. DE MOTOR	MODELO MOTOR	NUMERO DE CHASSIS	CANASTA CLUTCH	CAJA VELOCIDADES	MODELO DIFERENCIAL	MODELO SUSPENSION	Radio (litros)
1	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11440389	888CV315	S511265	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
2	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11452963	888CV315	S511265	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
3	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11452963	888CV315	S511312	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
4	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11452963	888CV315	S511261	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
5	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11452963	888CV315	S511261	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
6	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11454032	888CV315	S511267	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
7	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11454032	888CV315	S511305	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
8	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511341	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
9	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511327	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
10	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511277	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
11	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511259	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
12	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511252	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
13	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11460528	888CV315	S511254	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
14	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11464500	888CV315	S511260	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
15	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11454401	888CV315	S511300	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
16	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11449887	888CV315	S511260	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
17	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11448262	888CV315	S511258	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
18	KENWORTH	T800	GRIS	1988	11448262	888CV315	S512250	PC107034 (2X147)	RT146078	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
19	KENWORTH	T800	BLANCO	1988	11459825	888CV315	S514280	PC107034 (2X147)	RT146078	DSRS402P	REYCO 102	23.28
20	KENWORTH	T800	BLANCO	1988	11480110	888CV315	S514282	PC107034 (2X147)	RT146078	DSRS402P	REYCO 102	23.28
21	KENWORTH	WF900B	BLANCO	1988	11314787	888CV315	S333966	PC107034 (2X147)	RT12809A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
22	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1986	11314787	888CV315	S333966	PC107034 (2X147)	RT12809A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
23	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1986	11314786	888CV315	S333966	PC107034 (2X147)	RT12809A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
24	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1986	11314515	888CV315	S333987	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
25	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1988	11326987	888CV315	S333987	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
26	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1988	11326987	888CV315	S333986	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
27	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1988	10913208	888CV315	S333986	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
28	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1988	11298973	888CV315	S334001	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
29	KENWORTH	WF900B	BEIGE	1986	11328569	888CV315	S334022	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
30	KENWORTH	WF900B	BLANCO	1986	11314781	888CV315	S333988	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
31	KENWORTH	WF900B	BLANCO	1986	11328569	888CV315	S334018	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
32	KENWORTH	WF900B	BLANCO	1986	11327004	888CV315	S334029	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
33	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1987	11380080	NTC855F300	S344877	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
34	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1987	11379446	NTC855F300	S344879	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
35	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1987	11391013	NTC855F300	S344865	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
36	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1987	11390063	NTC855F300	S344183	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
37	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1987	11390079	NTC855F300	S344882	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
38	KENWORTH	T800	BLANCO-ROJO	1985	11299890	NTC855F300	S339818	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS401P	REYCO 102	23.28
39	KENWORTH	T800	BLANCO	1985	11299890	NTC855F300	S339822	PC107034 (2X147)	RT11609A	DSRS401P	REYCO 102	23.28
40	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11513794	888CV350	S284433	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
41	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11513797	888CV350	S284437	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
42	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514800	888CV350	S284440	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
43	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514834	888CV350	S284441	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
44	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514834	888CV350	S284441	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
45	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514833	888CV350	S284444	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
46	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514832	888CV350	S284446	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
47	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514832	888CV350	S284450	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
48	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11514833	888CV350	S284453	PC107034 (2X147)	RTX14609P	DSRS402	REYCO 102	23.28
49	KENWORTH	T800	AMARILLO	1988	11515839	888CV350	M522973	PC107034 (2X147)	RT12809A	DSRS402P	REYCO 102	23.28
50	KENWORTH	T800	BLANCO	1988	11439350	888CV350	J507346	PC107034 (2X147)	RT12809A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
51	KENWORTH	T800	BLANCO	1988	11473595	888CV350	J507347	PC107034 (2X147)	RT14609A	CD100-QR100	UE340	23.28
52	KENWORTH	T800	VE POLICROMA	1989	11473595	888CV350	M519180	PC107034 (2X147)	RT14609A	CD100-QR100	UE340	23.28
53	KENWORTH	T800	VE POLICROMA	1988	11476989	888CV350	M519181	PC107034 (2X147)	RT14609A	CD100-QR100	UE340	23.28
54	KENWORTH	T800	AZUL-BLANCO	1988	11481848	888CV350	S522462	PC107034 (2X147)	RT14609A	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
55	KENWORTH	T800	AZUL-BLANCO	1988	11481852	888CV350	S322465	PC107034 (2X147)	RT12809P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
56	KENWORTH	T800	AZUL-BLANCO	1989	11481853	888CV350	S322468	PC107034 (2X147)	RT12809P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
57	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11481864	888CV350	S322468	PC107034 (2X147)	RT12809P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
58	KENWORTH	T800	AZUL-BLANCO	1989	11483001	888CV350	S322529	PC107034 (2X147)	RT12809P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
59	KENWORTH	T800	CAFE POLICR	1990	11516448	888CV400	S322530	PC107034 (2X147)	RT12809P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
60	KENWORTH	T800	BLANCO	1989	11527113	888CV350	J529917	PC107034 (2X147)	RT14609P	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
61	KENWORTH	T800	AZUL-BLANCO	1990	11527113	888CV350	J548300	PC107034 (2X147)	RTX12809R	DSRS402P	AIRGLIDE 100	23.28
62	KENWORTH	T800	GRIS POLICR	1990	11574539	888CV315	SS46512	PC107034 (2X147)	RT11609A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
63	KENWORTH	T800	GRIS POLICR	1990	11584684	888CV315	SS53085	PC107034 (2X147)	RT11609A	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
64	KENWORTH	T800	BLANCO-AMARILLO	1988	11583900	888CV350	SS53079	PC107034 (2X147)	RT14715	CD100-QR100	REYCO 102	23.28
					11488865	888CV315	SS52087	PC107034 (2X147)	RT12809A	DSRS402	REYCO 102	23.28

### **2.3.2. Kilometraje**

El kilometraje también es importante, ya que, dependiendo de las rutas que tengan los camiones, si son rutas muy largas o muy cortas, así serán los recorridos. Los camiones en promedio recorren una distancia de 50 kilómetros por viaje y hacen entre 3 y 4 viajes al día. Lo que da un promedio de 175 kilómetros al día.

Más importante que el kilometraje, se reitera que son las horas de trabajo que realiza el camión, ya que, con base en las horas de trabajo están basados los principales mantenimientos preventivos y algunos otros controles en el taller.

### **2.3.3. Pendientes**

Se le llama pendiente del terreno, al porcentaje de relación que existe entre la distancia que sube un camión verticalmente y la distancia que se desplaza sobre la horizontal, respecto a un nivel cero de referencia.

En el caso del Ingenio, las fincas presentan pendientes con un valor máximo del 2%.

### **2.3.4. Cargas**

Se debe diferenciar entre las cargas vivas y las cargas muertas que se manejan dentro del concepto de Peso Bruto Combinado. El camión, las jaulas de arrastre y el dolly remolcador son cargas muertas y el peso de la caña representa la carga viva y variable. En promedio, los camiones del Ingenio mueven actualmente las siguientes cargas, distribuidas así:

Peso del camión	15,000 libras
Peso primera jaula	20,000 libras
Peso segunda jaula	20,000 libras
Peso dollie	5,000 libras
Carga viva (caña)	<u>100,000 libras</u>
Total =	160,000 libras

## 2.4. Desempeño actual

Para la determinación del desempeño se utilizan como base los valores de tracción efectiva neta, estartabilidad y gradeabilidad. Se calcularán estos valores con base en las condiciones actuales de trabajo y según las características de los componentes que se están utilizando sin haberse rediseñado el camión aún. Después de efectuados los cálculos se tomarán como base para poderlo comparar contra las condiciones que se presentan como resultado del rediseño de algunos componentes del camión.

### 2.4.1. Tracción efectiva neta (TEN)

Es el torque enviado de las llantas hacia el suelo y el producto del torque neto del motor y la reducción total del camión dividido por el radio de las llantas (con el camión cargado) menos el torque que se pierde por la resistencia de rodaje.

La tracción efectiva neta queda definida, según la siguiente fórmula:

$$TEN = \frac{(12)(T)(E)(C)(R)}{slr} - \frac{(RR)(GWC)}{100} \quad \text{[libras-pie]}$$

donde:

- T = Torque en libras-pie de salida del motor.
- E = Eficiencia del motor - 85% (condiciones promedio).
- C = Eficiencia de los engranajes - 85% (promedio en bajos engranajes).
- R = Reducción total. Que es el producto del ratio de la primera velocidad en la caja de velocidades principal, el ratio en la caja de velocidades auxiliar y el ratio del diferencial trasero (corona y piñon).

Por ejemplo:

$$\begin{array}{ccccccc}
 12.35 & \times & 1.59 & \times & 3.73 & = & 73.24 \\
 \text{Caja} & & \text{Caja} & & \text{ratio eje} & & \\
 \text{Principal} & & \text{Auxiliar} & & \text{trasero} & & 
 \end{array}$$

- slr = Radio de las llantas con camión cargado (22.8" para llantas rin 24.5).[pulgadas].
- RR = Resistencia de rodamiento = 3% para condiciones de trabajo en ingenio.
- GWC = Peso bruto combinado.[libras].

#### 2.4.2. Estartabilidad

Es la capacidad que tiene un camión de arrancar a partir de velocidad igual a cero en una pendiente.

$$S = \frac{1,200(E)(Tce)(R)}{(slr)(GWC)} - RR \quad [\%]$$



donde:

- E = Eficiencia, del 90% debido a las pérdidas en el tren motriz.
- Tce = Torque en el clutch mientras se está embragando. [libra-pie].
- R = Reducción total.
- slr = Radio de la llanta con el camión cargado. [pulgadas].
- GWC = Peso bruto combinado. [libras].
- RR = Resistencia de rodamiento = 3% (según condiciones de terreno).

### 2.4.3. Gradeabilidad

Es la capacidad que tiene un camión de mantener la velocidad, es decir que el vehículo se mantenga en movimiento a cierta pendiente a torque o potencia máxima.

En donde los valores de gradeabilidad de potencia (Gp) no debe ser menos de 0.3% y gradeabilidad de torque (Gt) no debe de ser menos de 1%.

$$G = \frac{1,200(E)(T)(R)}{(slr)(GWC)} - RR \quad [\%]$$

donde:

- E = Eficiencia, del 90% debido a las pérdidas en el tren motriz.
- Tce = Torque del motor. [libra-pie].
- R = Reducción total.
- slr = Radio de la llanta con el camión cargado. [pulgadas].
- GWC = Peso bruto combinado. [libras].
- RR = Resistencia de rodamiento = 3% (según condiciones de terreno).

Ya con estos conceptos definidos y totalmente inteligibles, se procederá a hacer el cálculo numérico de estos tres valores; en donde se tomará como base uno de los camiones de la flota de transporte en cuestión. A continuación se demuestra paso por paso el cálculo de los tres parámetros: Tracción efectiva neta, estartabilidad y gradeabilidad, respectivamente.

**Tracción efectiva neta.**

**Datos:**

T	=	1,150 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.85	GWC	=	155,000 libras
C	=	0.85	slr	=	23.28 pulgadas
R	=	46.89			

$$TEN = \frac{(12) (T) (E) (C) (R)}{slr} - \frac{(RR) (GWC)}{100}$$

introduciendo datos:

$$TEN = \frac{(12) (1,150) (0.85) (46.89) (46.89)}{(23.28)} - \frac{(3.0) (155,000)}{100}$$

$$TEN = 20,084.98 - 4,650.00$$

$$TEN = 15,434.98 \text{ libras}$$

### Estabilidad.

#### Datos:

Tce	=	977.50 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.90	GWC	=	155,000 libras
slr	=	23.28 pulgadas	R	=	46.89

$$S = \frac{(1,200) \quad (E) \quad (Tce) \quad (R)}{(slr) \quad (GWC) \quad (R)} - \frac{(RR)}{100}$$

introduciendo datos:

$$S = \frac{(1,200) \quad (0.90) \quad (977.50) \quad (46.89)}{(23.28) \quad (155,000)} - \frac{(3.0)}{100}$$

$$S = 13.72 - 3.0$$

$$S = 10.72 \quad \%$$

### Gradeabilidad.

#### Datos:

T	=	1,150 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.90	GWC	=	155,000 libras
slr	=	23.28 pulgadas	R	=	46.89

$$G = \frac{(1,200) (E) (T) (R)}{(slr) (GWC)} - \frac{(RR)}{100}$$

introduciendo datos:

$$G = \frac{(1,200) (0.90) (1,150) (46.89)}{(23.28) (155,000)} - \frac{3.0}{100}$$

$$G = 16.14 - 3.0$$

$$G = 13.14 \%$$

La tabla No. II presenta los valores de tracción efectiva neta, estartabilidad y gradeabilidad para toda la flota de camiones.

Tabla No. II. Base de datos de parámetros actuales

Código	Reduccion caja	Ratio	Eficiencia	T (lbs pie) Torque	Tca lbs pie	R red. total	air radio blanta	GWC	RR res. rod.	TEN Traction	S Extrabilidad	G Gradabilidad
1	12.35	3.75	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
2	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.89	23.28	155,000	3.0	15,434.98	10.72	13.14
3	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.89	23.28	155,000	3.0	15,434.98	10.72	13.14
4	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
5	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
6	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
7	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
8	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
9	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
10	9.96	3.73	0.90	1,150	977.50	37.15	23.28	155,000	3.0	11,264.59	7.87	9.79
11	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
12	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.89	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
13	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
14	12.57	3.73	0.90	1,150	977.50	48.89	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
15	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
16	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
17	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
18	12.35	3.73	0.90	1,150	977.50	46.07	23.28	155,000	3.0	15,003.45	10.48	12.69
19	12.57	3.90	0.90	1,150	977.50	49.02	23.28	155,000	3.0	16,350.38	11.35	13.98
20	12.57	3.90	0.90	1,150	977.50	49.02	23.28	155,000	3.0	16,350.38	11.35	13.98
21	12.57	3.90	0.90	1,150	977.50	49.02	23.28	155,000	3.0	16,350.38	11.35	13.98
22	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
23	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
24	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
25	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
26	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
27	12.85	3.73	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
28	12.85	3.73	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
29	12.85	3.73	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
30	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
31	12.85	3.90	0.90	1,150	977.50	47.18	23.28	155,000	3.0	15,562.81	10.81	13.24
32	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
33	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
34	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
35	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
36	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
37	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
38	12.85	3.90	0.90	1,100	935.00	48.34	23.28	155,000	3.0	15,565.18	10.81	13.25
39	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
40	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
41	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
42	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
43	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
44	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
45	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
46	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
47	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
48	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
49	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
50	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
51	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
52	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
53	12.85	3.90	0.90	1,200	1020.00	48.34	23.28	155,000	3.0	17,402.90	12.06	14.72
54	12.85	3.90	0.90	1,200	1020.00	48.34	23.28	155,000	3.0	17,402.90	12.06	14.72
55	12.85	3.90	0.90	1,200	1020.00	48.34	23.28	155,000	3.0	17,402.90	12.06	14.72
56	12.85	3.90	0.90	1,200	1020.00	48.34	23.28	155,000	3.0	17,402.90	12.06	14.72
57	12.85	3.90	0.90	1,200	1020.00	48.34	23.28	155,000	3.0	17,402.90	12.06	14.72
58	12.85	3.55	0.90	1,200	1020.00	44.91	23.28	155,000	3.0	15,423.80	10.71	13.13
59	12.85	4.10	0.90	1,200	1020.00	51.87	23.28	155,000	3.0	18,593.82	12.84	15.83
60	10.70	3.90	0.90	1,200	1020.00	41.73	23.28	155,000	3.0	14,003.44	9.74	11.99
61	12.85	3.55	0.90	1,150	977.50	44.91	23.28	155,000	3.0	14,003.44	10.14	12.48
62	12.85	3.55	0.90	1,150	977.50	44.91	23.28	155,000	3.0	14,003.44	10.14	12.48
63	9.96	3.55	0.90	1,200	1020.00	35.36	23.28	155,000	3.0	11,155.14	7.80	9.70
64	12.85	3.55	0.90	1,150	977.50	44.91	23.28	155,000	3.0	14,587.39	10.14	12.48

### **3. ANÁLISIS PARA EL NUEVO DISEÑO**

#### **3.1. Componentes básicos posibles a rediseñar**

Para entrar de lleno al rediseño se necesita definir cuáles son los componentes del camión que están propensos o pueden sufrir algún tipo de modificación en cuanto a su desempeño actual y la contribución que pueden aportar al sistema completo del camión. En el capítulo uno se expusieron todas las características de los componentes principales del camión, que son los que afectan directamente al funcionamiento del vehículo. Por lo tanto, ya que se sabe cuáles son estos componentes, procede hacer el análisis de las variables que pueden afectar la contribución de éstos, según el tipo de aplicación y modelo de la máquina.

#### **3.2. Parámetros de rediseño**

Los camiones cumplen su función, pero, a mayor costo de operación, ya que al estar siendo sometidos a trabajo más severo, los componentes sufren más desgaste que lo normal y, por lo tanto, acortan su vida útil.

El objetivo del rediseño de camiones usados es el de lograr un aumento en la productividad actual. Por lo tanto, se deben tomar en cuenta los aspectos de diseño, de los cuales depende este aumento.

El parámetro más importante para el rediseño es el de lograr aumentar la cantidad de carga transportada de los camiones. Ya que éstos han sido diseñados en

principio, para otras aplicaciones, cuentan con una capacidad de carga que no es la óptima para el tipo de operación.

Como la capacidad de carga y el aumento de ésta, depende, principalmente, del aumento de la tracción efectiva neta, de la estartabilidad y gradeabilidad y éstas, a su vez, están relacionadas directamente proporcional a los siguientes parámetros: **torque de salida del motor, eficiencia del motor, eficiencia de los engranajes, reducción total, radio de las llantas, suspensión, resistencia de rodaje y peso bruto combinado.**

### 3.2.1. Torque de salida del motor

Es un valor fijo específico de cada modelo de motor, el cual está expresado en unidades de libra-pie a un valor de revoluciones por minuto. Para lograr un aumento en el torque de salida, deberá de cambiarse por completo el motor. La mayoría de motores actuales de la flota son modelos Big Cam IV de 315 HP y 350 HP con un torque de 1,150 libras-pie y 1,175 libras-pie de torque respectivamente. Si se piensa en cambiar de motor, a uno con mayor torque, podría ser el motor BCAM IV 400, con un torque de salida de 1,250 libras-pie.

Como se puede observar en la tabla No. VI presentada al final de este capítulo, el cabezal con número de código 58 es el único de la flota que cumple con estas especificaciones, por medio del cual se puede hacer el siguiente análisis comparativo de la tabla No. III:

PARÁMETRO	Código 58	Código 2	VARIACIÓN
Tracción efectiva neta	26,509.15 libras	23,835.13 libras	11.2%
Estartabilidad	18.26%	16.46%	10.9%
Gradeabilidad	22.04%	19.89%	10.8%

Tabla No. III Comparativo de parámetros, motores 315 hp vrs. motores 400 hp

Se observa en esta tabla, que el aumento de los parámetros es solamente de un 11%, aproximadamente, mientras que el valor de un motor de 400 caballos de fuerza asciende a más de U\$. 10,000.00; que es un valor de casi 2 veces el valor total de la inversión del rediseño. Por lo tanto, un cambio de esta naturaleza no se justificaría para un posible rediseño.

### **3.2.2. Eficiencia del motor**

Al igual que el torque del motor, la eficiencia de éste es un factor característico de cada modelo y no puede sufrir variación alguna. Este factor de eficiencia es un valor establecido en diseño, el cual es de 85% en promedio para los motores Diesel mecánicos Cummins.

### **3.2.3. Eficiencia de los engranajes**

Los engranajes de la caja de transmisión de velocidades y de los ejes diferenciales tienen valores de eficiencia ya establecidos, los cuales están en un promedio del 85 cálculos de diseño. Por lo tanto, es otro dato que no puede sufrir alteración para contribuir a incrementar los valores de tracción efectiva neta, gradeabilidad y estartabilidad.

### **3.2.4. Radio de las llantas**

El radio de las llantas en equipos pesados como cabezales y jaulas cañeras tiene diferentes medidas. Por ejemplo: una llanta de rin 22.5, significa que tiene un diámetro de 22.5 pulgadas. Las medidas más comunes son: rin 20, rin 22.5 y rin 24.5, independientemente de qué perfil tenga la llanta.



Estas medidas de llantas tienen que guardar una relación para que no afecte la altura del cabezal respecto del equipo de arrastre. Es decir que resultaría contraproducente variar el rin de llanta del cabezal ya que vendría a afectar la relación de alturas; por lo tanto, el radio de las llantas es otro factor que no se debe variar en busca de un aumento en el valor de la tracción efectiva neta. Además que cambiar llantas implica un cambio de bufas y tambores, lo cual implicaría también una inversión mayor.

### **3.2.5. Resistencia de rodaje**

Este tampoco puede sufrir variación, ya que son valores ya establecidos que dependen directamente del tipo de terreno que trabaje el cabezal, por lo tanto, éste también permanece sin variación alguna.

### **3.2.6. Peso Bruto Combinado (GWC)**

Éste es el parámetro que se desea aumentar en el rubro de carga promedio de caña transportada, pero, éste, depende de la capacidad de carga del camión. Por lo tanto, no presenta cambio alguno sino hasta el final donde se empiecen a ver los resultados del rediseño.

### **3.2.7. Suspensión**

En el primer capítulo se presentaron las características de las diferentes suspensiones, en donde la más importante de éstas es la capacidad en libras que tiene cada una. La suspensión Reyco 102 posee una capacidad de 38,000 libras de carga vertical. A pesar del aumento en la carga transportada que se obtendrá con el rediseño,

se observa según el siguiente análisis, que la capacidad de carga de las suspensiones actuales siguen trabajando en sus límites de tolerancia, permisibles.

Es importante mencionar que el peso de la carga viva de la primera jaula, es soportado 50% por los ejes traseros del cabezal y 50% por los ejes de la jaula, los cuales tienen una capacidad de 20,000 libras cada uno, dando un total de 40,000 libras de capacidad en la parte trasera de la jaula. Mientras tanto, el cabezal tiene una capacidad de carga vertical entre 38,000 y 40,000 libras en los ejes traseros.

Si decimos que:

Peso jaula	=	20,000 libras
Peso carga viva	=	50,000 libras + 11,500 libras (23% de aumento real, según cálculos en el capítulo 6)
Total	=	81,500 libras.

De las cuales 40,750 libras son cargadas por los ejes traseros del cabezal y 40,750 libras cargadas por los ejes traseros de la jaula. Lo cual demuestra que se está dentro de los límites permisibles de capacidad de la suspensión.

Por lo tanto, se puede seguir utilizando la misma suspensión, ya que no afectará el incremento en la carga transportada.

### 3.2.8. Reducción total

Este parámetro es el que se someterá a juicio para aumentar su valor. La reducción total está compuesta por tres componentes específicos que son: la **reducción**

**de la caja de velocidades principal, reducción de la caja auxiliar y el ratio de los ejes diferenciales. Por lo tanto:**

- el aumento de la **reducción en la caja de velocidades principal**, no representa un aumento sustancial para la tracción efectiva neta. A la vez que, este aumento implicaría un cambio total en la caja de velocidades, lo cual no es justificable ya que este componente no sufre fallas significativas ni potenciales para realizar el cambio;
- en cuanto a la **reducción en la caja auxiliar de velocidades**, no se toma en cuenta ya que las cabezales en cuestión no poseen caja auxiliar;
- por último y el que resulta ser el punto medular del rediseño, es el **RATIO de los ejes diferenciales**. Éste implica un aumento sustancial y significativo para el aumento de la tracción efectiva neta, la estartabilidad y la gradeabilidad. Este parámetro define la relación entre corona y piñón del diferencial, pues, es el componente que más se ve afectado junto con la suspensión, por las sobrecargas; sufriendo, constantemente, fallas por esfuerzos de fatiga y ruptura por trabajar con una relación (ratio) de corona y piñón no adecuada para la carga de trabajo.

Al revisar las fichas técnicas se observa que el ratio de los diferenciales de los camiones tiene diferentes relaciones: 3.55, 3.73, 3.90 y 4.10 tanto en diferenciales marca Rockwell como Eaton.

El ratio no es más que la relación de dientes entre corona y piñón, por ejemplo:

Corona	=	39 dientes
Piñon	=	10 dientes
Ratio	=	$39/10 = 3.90$

Entre más baja sea la relación o ratio, mayor será la velocidad y menor el torque. Por el contrario, mientras más alta sea la relación o ratio, mayor será el torque y menor la velocidad.

**Por lo tanto, se buscará un aumento en la relación de la corona y piñón, lo que significa un aumento en el valor del ratio. Con lo cual se obtendrá un mayor torque de entrega del diferencial a las llantas, dando como resultado una mayor tracción efectiva neta.**

Ya que los diferenciales Eaton y Rockwell trabajan en rangos de relación de ratios rápidos, estándar y lentos (ver Tabla No.III) Todos los ratios desde 3.55 hasta 5.29 están dentro del rango de ratios rápidos y estándar. Ahora bien, los ratios desde 5.57 hasta 7.14 pertenecen al rango de ratios lentos.

RATIOS		
SQHP	SQ-100	DS401/2P
<u>Lentos</u>	<u>Lentos</u>	<u>Lentos</u>
6.17	5.83, 5.86, 6.17,	5.86, 6.17
6.14, 6.83, 7.80	6.14, 6.83, 7.20,	<u>Standard</u>
<u>Standard</u>	7.80	4.10, 4.33, 4.44,
4.11, 4.10, 4.33,	<u>Standard</u>	4.63, 5.29
4.44, 4.63, 4.88,	4.11, 4.10, 4.33,	<u>Rápidos</u>
5.29	4.44, 4.63, 4.88,	3.42, 3.55, 3.73,
<u>Rápidos</u>	5.29	3.90
3.42, 3.55, 3.70,	<u>Rápidos</u>	
3.73, 3.90	3.42, 3.55, 3.70,	
	3.73, 3.90	

Tabla No. IV, Ratios por modelos de ejes

Se escoge el ratio de 5.29 que aunque es del rango de ratios standards, está en límite del rango de ratios lentos, con 37 dientes en la corona y 7 dientes en el piñón; el cual logra un buen aumento en el torque de entrega.

Pero, el hecho más importante y crítico del porqué la selección del ratio de 5.29, obedece al hecho de que a partir del ratio de 5.57 que es el siguiente de 5.29, se debe cambiar toda la carcasa del diferencial, lo que representaría una inversión muy grande y no justificable en el rediseño.

### 3.3. Cálculos del aumento en parámetros de rediseño

Se procede al cálculo de los nuevos parámetros de tracción efectiva neta, gradeabilidad y estartabilidad, con los nuevos componentes de rediseño, es decir, el aumento en el ratio del diferencial. Se presenta un ejemplo ilustrativo de los cálculos

para un cabezal y el resto de los datos se presenta una tabla de datos para el resto de la flota.

### 3.3.1. Tracción efectiva neta (TEN)

**Datos:**

T	=	1,150 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.85	GWC	=	155,000 libras
C	=	0.85	slr	=	23.28 pulgadas
R	=	66.50			

$$TEN = \frac{(12) (T) (E) (C) (R)}{r} - \frac{(RR) (GWC)}{100}$$

introduciendo datos:

$$TEN = \frac{(12) (1,150) (0.85) (0.85) (66.50)}{23.28} - \frac{(3.0) (155,000)}{100}$$

$$TEN = 28,485.13 - 4,650.00$$

$$TEN = 23,835.13 \text{ libras}$$

### 3.3.2. Estartabilidad

**Datos:**

Tce	=	977.50 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.90	GWC	=	155,000 libras
slr	=	23.28 pulgadas	R	=	66.50

$$S = \frac{(1,200) (E) (Tce) (R)}{(slr) (GWC)} - (RR)$$

introduciendo datos:

$$S = \frac{(1,200) (0.90) (977.50) (66.50)}{(23.28) (155,000)} - (3.0)$$

$$S = 19.46 - 3.0$$

$$S = 16.46 \%$$

### 3.3.3. Gradeabilidad

Datos:

T	=	1,150 libras	RR	=	3.0%
E	=	0.90	GWC	=	155,000 libras
slr	=	23.28 pulgadas	R	=	66.50

$$G = \frac{(1,200) (E) (T) (R)}{(slr) (GWC)} - (RR)$$

introduciendo datos:

$$G = \frac{(1,200) (0.90) (1,150) (66.50)}{(23.28) (155,000)} - 3.0$$

$$G = 22.89 - 3.0$$

$$G = 19.89 \%$$

Esto da como resultado un aumento de un poco más del 50% en estos tres parámetros, lo que representará un aumento de, por lo menos, 30% esperado en la

**cantidad de carga transportada y una disminución de, por lo menos, 10% esperado en los costos de operación, según los cálculos a efectuarse más adelante.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>CON REDISEÑO</b>	<b>VARIACIÓN</b>
<b>Tracción efectiva neta</b>	15,432.33 libras	23,835.13 libras	54%
<b>Estartabilidad</b>	10.72 %	16.46%	54%
<b>Gradeabilidad</b>	13.14%	19.89%	51%

**Tabla No. V. Comparativo de parámetros actuales vrs. rediseño**

En la tabla No.VI se presentan los valores de tracción efectiva neta, estartabilidad y gradeabilidad para la flota de camiones después de aplicar los valores de los parámetros de rediseño.



**Tabla No. VI. Base de datos de parámetros con rediseño**

Código	Reduccion cala	Ratio	Eficiencia	T (lbs pie) Torque	Tac lbs pie	R red. total	air radio llanta	GWC	RR res. rod.	TEN Traccion	S Estabilidad	G Gradabilidad
1	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
2	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
3	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
4	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
5	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
6	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
7	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
8	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
9	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
10	9.98	5.29	0.90	1,150	977.50	52.89	23.28	155,000.00	3.0	17,920.56	12.42	15.14
11	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
12	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
13	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
14	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
15	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
16	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
17	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
18	12.35	5.29	0.90	1,150	977.50	65.33	23.28	155,000.00	3.0	23,338.58	16.12	19.49
19	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
20	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
21	12.57	5.29	0.90	1,150	977.50	66.50	23.28	155,000.00	3.0	23,835.13	16.46	19.89
22	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
23	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
24	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
25	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
26	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
27	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
28	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
29	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
30	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
31	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
32	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
33	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
34	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
35	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
36	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
37	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
38	12.65	5.29	0.90	1,000	850.00	66.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
39	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
40	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
41	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
42	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
43	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
44	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
45	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
46	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
47	10.70	5.29	0.90	1,175	988.75	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,124.60	13.92	16.91
48	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
49	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
50	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
51	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
52	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
53	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
54	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
55	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
56	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
57	12.65	5.29	0.90	1,175	988.75	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,639.60	17.01	20.54
58	12.65	5.29	0.90	1,250	1,062.50	68.92	23.28	155,000.00	3.0	26,509.15	18.29	22.04
59	12.65	5.29	0.90	1,200	1,020.00	68.92	23.28	155,000.00	3.0	25,282.70	17.43	21.04
60	10.70	5.29	0.90	1,300	1,020.00	58.80	23.28	155,000.00	3.0	20,651.72	14.38	17.33
61	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
62	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04
63	9.68	5.29	0.90	1,175	988.75	52.69	23.28	155,000.00	3.0	16,411.22	12.75	15.53
64	12.65	5.29	0.90	1,150	977.50	68.92	23.28	155,000.00	3.0	24,016.42	16.56	20.04

## **4. PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO**

### **4.1. Componentes a rediseñar**

Anteriormente, se definió que el cambio del ratio de los diferenciales es el punto más importante en el rediseño. Adicional a este cambio, también se recomienda hacer otro tipo de rediseños e instalaciones de componentes que funcionarán de mejor forma que los que actualmente están instalados en los cabezales.

Estos cambios traen consigo algún tipo de inversión, pero, son de gran ayuda al desempeño de la maquinaria. Los componentes que actualmente tienen los cabezales están funcionando, pero, por el hecho de que no son para las capacidades de carga y trabajo reales, presentan fallas con una frecuencia mayor que si tuvieran componentes adecuados a la operación. Es por estos motivos que, adicional al rediseño del ratio de los diferenciales, también se recomienda una inversión más para los componentes de: **embrague automático del ventilador y embrague del motor a la caja de velocidades.**

#### **4.1.1. Embrague automático del ventilador**

Durante muchos años, los embragues del ventilador han desempeñado un buen trabajo. A diferencia de un embrague de acción constante que puede consumir hasta 45 caballos de fuerza, el embrague automático del ventilador gira sólo cuando se necesita controlar la temperatura del motor. El resto del tiempo, está "sentado en la banca", disponible; pero desconectado. Esto significa que se cuenta con más caballos de fuerza para mover la carga, menos ruido y menor consumo de combustible por kilometraje.

El embrague automático del ventilador está diseñado para brindar una vida de servicio extendida aún en condiciones severas. El problema principal con las flotas de transportes radica en pura cuestión de cultura, el hecho de que sea un automático del ventilador no quiere decir que no necesite mantenimiento preventivo o correctivo. Es por este motivo que los transportistas se vuelven escépticos a utilizar el embrague del ventilador en forma automática y lo utilizan, constantemente, es decir que dejan fijo, funcionando el ventilador todo el tiempo. Esto es contraproducente para el motor, ya que se pierde potencia cuando se podría evitar, además, se incurre en un mayor gasto de combustible el cual se podría ahorrar.

El sistema consiste en un interruptor térmico que va colocado en uno de los conductos cercano a la culata del motor, por el cual pasa el refrigerante del motor y éste sirve como sensor de temperatura; la cual al estar en un rango entre 180 - 205 grados Fahrenheit, activa el interruptor térmico y éste le manda una señal eléctrica a la válvula solenoide de aire. La válvula solenoide funciona de tal forma que cuando recibe la señal eléctrica del sensor de temperatura se acciona y abre una válvula interna la cual permite el paso de aire comprimido directamente al embrague automático del ventilador. El embrague del ventilador al recibir una descarga de aire comprimido a 90-120 psi, empuja el resorte para presionar el disco contra la rueda de la polea, logrando así que funcione el ventilador. Éste sigue funcionando el tiempo necesario para lograr que la temperatura del refrigerante del motor disminuya por debajo del límite inferior del rango de operación de temperatura; invirtiéndose entonces el proceso de activado del embrague, es decir; el sensor de temperatura lee una temperatura inferior a los 180 grados Fahrenheit y le manda una señal eléctrica a la válvula solenoide y, ésta hace que el resorte baje y que empuje el embrague del abanico lejos de la rueda de la polea provocando que el ventilador deje de dar vueltas.

Haciendo esta inversión se logra que el ventilador funcione solamente cuando el motor lo necesita logrando grandes ahorros de combustible y potencia, además que los componentes del embrague del ventilador (cojinetes, retenedores, etc.), sufrirán menos desgaste con lo que se logra alargar la vida útil de este componente. Este cambio debe realizarse en aquellos camiones que tengan desactivado el embrague automático del ventilador.

#### **4.1.2. Canasta de clutch**

En el capítulo anterior se habló de un aumento en la Tracción Efectiva Neta, lo que provocaría un mayor torque en el tren de potencia, desde el motor hasta los diferenciales; este mismo torque será devuelto hacia el motor desde los diferenciales al momento de una compresión o al momento que el camión esté descendiendo una pendiente con la carga en el equipo de arrastre.

Esto provoca que el modelo de canasta de clutch actual, ya no es suficiente en su capacidad de torque, por lo que sufrirá daños y efectos de sobreesfuerzo, debido a que el revestimiento orgánico que utiliza resulta débil para la fuerza a la que estaría sometida. De igual manera, el diámetro de los discos de clutch y del plato intermedio resulta insuficiente para contrarrestar esta transmisión de torque y velocidad.

Por lo tanto, se recomienda instalar una canasta de clutch que resista estos esfuerzos y sea la adecuada para esta aplicación. La canasta de clutch adecuada posee las siguientes características:

### **Canasta de clutch genuina Spicer**

- Discos de clutch con revestimiento de material cerámico, de 15 ½" de diámetro.
- Centro de 2" y 10 estrías para el propulsor de salida de la caja de velocidades.
- Discos de clutch resortados coaxiales para una mejor absorción de la vibración y el ruido.

#### **4.1.3. Ejes traseros**

Ya se definió que el ratio de los ejes traseros óptimo es el de 5.29, es decir, una relación de 37 dientes de la corona y 7 de piñón. Por lo tanto, se deben cambiar estos componentes, tanto para ejes Rockwell como para Eaton, con la diferencia de que en los ejes Rockwell necesitan cambiarse también las bases de la corona y piñón delantera y trasera.

A continuación se detallan los componentes a cambiar para cada uno de los modelos de diferenciales más comunes en la flota de transporte que se hará el rediseño:

#### **Modelos Tandem SQ-100 & SQ-100P (Rockwell)**

De ratio 3.73, 3.55, 4.10 a ratio 5.29, los componentes son:

- Corona y piñón delantera
- Base de corona y piñón delantera
- Corona y piñón trasera
- Base de corona y piñón trasera

## **Modelos Tandem 402 & 402P**

De ratio 3.90 a ratio 5.29

- Corona y piñón delantera
- Corona y piñón trasera

#### 4.2. Presupuesto

El presupuesto de rediseño de camiones usados de la flota de transporte del Ingenio, queda conformado de la siguiente manera:

	U.S. \$.	U.S. \$.
	P.UNITARIO	P.GLOBAL
<b>MANO DE OBRA</b>		
(Incluye cambio de componentes en diferenciales y canasta de clutch)	3,000.00	3,000.00
<b>Sub-total</b>		3,000.00
<b>REPUESTOS</b>		
1 Embrague automático del ventilador	6,355.35	6,355.35
1 Válvula solenoide de aire	599.01	599.01
1 Sensor térmico del ventilador	437.28	437.28
1 Corona y piñón delantera	7,304.27	7,304.27
1 Base de corona y piñón delantera	3,029.82	3,029.82
1 Corona y piñón trasera	7,304.27	7,304.27
1 Base de corona y piñón trasera	3,029.82	3,029.82
1 Retenedor del yugo de entrada carrier delantero	216.08	216.08
1 Retenedor del yugo de salida carrier delantero	185.84	185.84
1 Retenedor del yugo de entrada carrier trasero	216.08	216.08
1 Canasta de clutch de 15 1/2" original Spicer	5,540.10	5,540.10
<b>Sub-total</b>		34,217.92
<b>LUBRICANTES</b>		
16 Litros de aceite 85W140	17.35	277.60
<b>Sub-total</b>		277.60
<b>TOTAL</b>	<b>Q.</b>	<b>37,495.52</b>
Total en dólares	U.S. \$.	5,136.37

Nota: se cuantifica en dólares por ser productos importados y su precio depende de la fluctuación del quetzal vrs. el dólar. Estos precios son actuales de mercado y sin mayor variación entre proveedores.

### 4.3. Costos de operación

Se debe determinar cuáles son los costos de operación, actuales, para la flota de transporte del ingenio. Este valor sirve para hacer el comparativo posterior de las ventajas de un rediseño, las cuales se verán directamente reflejadas en una disminución de los costos de operación.

El valor actual de costos de operación para la flota de transporte es proporcionado por el Superintendente de Transporte y se mide en unidades de dinero por tonelada-kilómetro (U.\$./ TON-KILOMETRO) es decir, cuánto cuesta transportar una tonelada de caña, una distancia de 1 kilómetro. Actualmente, este valor es de **U.\$. 1.17 por tonelada-kilómetro.**

Ya teniendo este valor, se procede a calcular cuál será el nuevo valor de costo de operación por unidad, teniendo en cuenta el aumento en la cantidad de carga transportada que se logra con el rediseño, de la siguiente manera:

TONELADAS TRANSPORTADAS POR AÑO ZAFRA	20,000	50 TON X VIAJE X 3 VIAJES DIARIOS
COSTO POR TONELADA ACTUAL		U.\$. 1.17
COSTO TOTAL POR AÑO ZAFRA		U.\$. 23,400.00
TONELADAS TRANSPORTADAS CADA 3 AÑOS	60,000	U.\$. 70,200.00
+ EL 30% DE AUMENTO EN LA CANTIDAD DE CARGA TRANSPORTADA	<u>+ 18,000</u> 78,000	
TONELADAS TRANSPORTADAS POR AÑO CON REDISEÑO	26,000	



Se logra, entonces, un aumento en la cantidad de toneladas de caña de azúcar transportadas. Este aumento, se da sin sufrir incrementos en los costos de operación en los rubros de: repuestos, mano de obra, tiempo muerto de la máquina por reparación, entre otros. Donde si tendrá un incremento será en el consumo de combustible, llantas y otros.

El combustible representa un 35% de los costos de operación de un cabezal. Este rubro se estima que sin el rediseño en el embrague automático del ventilador, tendría un incremento de un 30 a 35% de consumo de combustible en el momento de hacer el rediseño completo, ya que éste implica un aumento en el consumo de combustible. Implementando este automático del ventilador se estima que el consumo de combustible tendrá únicamente un incremento del 25%.

De la misma manera también existirá un incremento del 7%, aproximadamente, para el rubro de llantas y otros. Por lo tanto, el incremento del costo por tonelada-kilómetro queda de la siguiente forma:

<b>Costo /tonelada actual</b>	<b>U.\$ 1.17</b>	<b>U.\$ 0.41</b>	<b>35% combustible</b>
		<b>U.\$ 0.10</b>	<b>25% del combustible</b>
		<b>U.\$ <u>0.08</u></b>	<b>7% llantas y otros.</b>
	<b>Total</b>	<b>U.\$ 0.18</b>	

Lo que representa un 15.75% de aumento en el costo total, es decir:

$$(60,000 \text{ ton})(\text{U.S.}\$. 1.17/\text{ton-km})(1.1575 \text{ incremento}) = \text{U.S.}\$. 81,256.50; \text{ y}$$

un 30% de aumento en la carga transportada, es decir:

$$(60,000 \text{ ton})(1.30 \text{ incremento}) = 78,000 \text{ toneladas}$$

lo que deja un costo teórico de:

$$\frac{\text{U.S.}\$. 81,256.50}{78,000 \text{ toneladas}} = \text{U.S.}\$. 1.04 / \text{ton-km}$$

Con estos datos se confirma el objetivo de lograr un aumento mínimo esperado del 30% en la cantidad de carga transportada y una disminución mínima esperada del 10% en el costo de transporte por tonelada-kilómetro.

#### **4.4. Cálculos financieros**

Para vender este proyecto a la Superintendencia de Transportes de cualquier Ingenio se deben presentar cálculos financieros que permitan dar un estimado de la viabilidad del proyecto. Para respaldar este proyecto se realizan los índices financieros del VAN (valor actual neto) y del TIR (tasa interna de retorno) los cuales son calculados en dólares.

#### 4.4.1. Valor Actual Neto

El VAN o Valor Actual Neto queda de la siguiente manera:

Costo por tonelada sin rediseño	U.\$.	1.17
Costo por tonelada con rediseño	U.\$.	<u>1.04</u>
<b>AHORRO=</b>	U.\$.	<b>0.13</b>

TONELADAS TRANSPORTADAS 26,000  
 POR AÑO

**AHORRO TOTAL= U.\$. 3,334.50 al año**

#### CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)

VAN=	$\frac{\text{AHORRO}}{(1+i)^1}$	+ ... +	$\frac{\text{AHORRO}}{(1+i)^{n-1}}$	+	$\frac{\text{AHORRO}}{(1+i)^n}$	-	Inversión inicial
VAN=	$\frac{3,334.50}{(1+0.24)}$	+	$\frac{3,334.50}{(1+0.24)^2}$	+	$\frac{3,334.50}{(1+0.24)^3}$	-	5,136.37
VAN=	2,689.11	+	2,168.64	+	1,748.90	-	5,136.37
<b>VAN=</b>	<b>U.\$.</b>		<b>1,470.29</b>				

i= 24% anual

n= 3 años

Inversión inicial= U.\$. 5,136.37

Se utiliza el 24% como TREMA (Tasa de rendimiento mínima aceptable) para este proyecto. (4:78).

#### 4.4.2. Tasa interna de retorno

La TIR o tasa interna de retorno queda de la siguiente manera:

Costo por tonelada sin rediseño	U.\$.	1.17
Costo por tonelada con rediseño	U.\$.	<u>1.04</u>
<b>AHORRO=</b>	U.\$.	<b>0.13</b>

TONELADAS TRANSPORTADAS POR AÑO			26,000
<b>AHORRO TOTAL=</b>	U.\$.		<b>3,334.50 al año</b>

#### CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

$$TIR = 0 = \frac{AHORRO}{(1+i)^1} + \dots + \frac{AHORRO}{(1+i)^{n-1}} + \frac{AHORRO}{(1+i)^n} - \text{Inversión inicial}$$

$$TIR = 0 = \frac{3,334.50}{(1+0.24)} + \frac{3,334.50}{(1+0.24)^2} + \frac{3,334.50}{(1+0.24)^3} - 5,136.37$$

$$TIR = 42\%$$

i= 24% anual

n= 3 años

Inversión inicial= U.\$. 5,136.37

## 5. IMPLANTACIÓN

### 5.1. Instalación de componentes de rediseño

La instalación de los componentes de rediseño procedió a realizarse en la unidad No. 2, según lo establecido con anterioridad, conforme a lo siguiente:

- el embrague automático del ventilador que se utilizará es de 9 ½" de diámetro en su fricción intermedia, esto es debido a que el cabezal escogido tiene una hélice de ventilador de 8 aspas cóncavas, que requiere este tamaño de embrague. Esta instalación está a cargo de un mecánico y además un eléctrico quien se encarga de las conexiones del sistema eléctrico para el sensor de temperatura y la válvula solenoide. El mecánico se encarga del montaje del embrague automático y de las líneas de aire procedentes del compresor. Se debe tener en cuenta la altura a la cual se monta el embrague automático, ya que es muy importante para un buen funcionamiento del mismo. (2:5). Es de gran importancia el uso de la tolva del radiador, para que no exista ningún escape de aire a la hora de que la hélice del ventilador haga su trabajo de tiro succión de aire del radiador; esta tolva se debe utilizar en caso de que no la tuviera;
- la canasta de clutch utilizada es de 15 ½" de diámetro x 2" de centro en los discos de clutch, con fricciones cerámicas, según lo establecido anteriormente. Generalmente, el volante debe rectificarse en el torno para un mejor acople con la canasta de clutch, así como una buena transmisión de potencia. Es de vital importancia la instalación y ajuste correcto de la canasta

de clutch, ya que un mal ajuste significa volver a bajar la caja de velocidades completa, corriendo el riesgo de que los discos de clutch sufran algún daño. La canasta original Spicer viene acompañada de su manual de instalación con medidas y holguras de fábrica, para lo cual se debe supervisar al mecánico para que siga las instrucciones al pie de la letra;

- de la misma forma se procede a instalar los diferenciales, delantero y trasero, en los cuales se cambian las piezas necesarias como lo son: corona y piñón delantera y trasera, bases de corona y retenedores. De gran importancia es un buen diagnóstico de las otras partes de los diferenciales, debe medirse el desgaste de los cojinetes, cunas, satélites, planetarios, etc. y, si es necesario, cambiar los que ya tengan mucho desgaste. Con esto se busca que los diferenciales queden lo mejor ajustados y no sufran daños colaterales debido a otras piezas. En este ajuste se debe tener especial cuidado con las medidas, holguras y luces que deben tener todos los engranajes, haciendo que el mecánico haga sus mediciones con azul de prusia.

Cabe mencionar que estas piezas son las previamente definidas a cambiarse, pero que en algún momento dado, por el hecho de que todos son cabezales usados, por lo menos con un año en zafra, de su último mantenimiento, cabe la posibilidad de que en alguno de los cabezales haya que cambiarse piezas adicionales a éstas, debido al desgaste presentado al momento de desarmar alguno de los diferenciales.

## **5.2. Prueba piloto**

La prueba piloto se realizó directamente en la operación de transporte de caña, con el cabezal cargado con un equipo de dos jaulas cañeras. Para dicha prueba se

necesitan 2 días de trabajo en operación, para obtener datos, por lo menos, de tres o cuatro viajes.

### 5.2.1. Fallas

Al hablar de fallas se refiere al hecho de que durante la operación del cabezal rediseñado pudiera existir algún desperfecto mecánico por alguna instalación mal hecha en alguno de los componentes o, bien, si alguna de las partes utilizadas no fuera lo suficientemente capaz de soportar las nuevas cargas.

Como es de esperarse, ninguno de los componentes sufre daño alguno al momento de realizarse la prueba piloto. No se presenta ningún tipo de falla por una inadecuada graduación o instalación en los componentes, así que el cabezal soporta de una mejor forma las cargas transportadas.

### 5.2.2. Pesos

Se logra un total de cinco viajes en los dos días de la prueba piloto, de los cuales se obtienen las siguientes lecturas. Estas lecturas son proporcionadas por el personal del Ingenio, según los pesos (carga viva) marcados por la báscula de la fábrica y quedan de la siguiente forma:

1er. Viaje	=	59.8 TON aprox.
2do. Viaje	=	62.3 TON aprox.
3er. Viaje	=	60.8 TON aprox.
4to. Viaje	=	61.5 TON aprox.
5to. Viaje	=	<u>61.9</u> TON aprox.
Total promedio	=	61.3 TONELADAS

### **5.2.3. Combustible**

Los resultados reflejados en la prueba piloto es que el aumento en el consumo de combustible puede estar en el rango de 15% a 20% y no un 25% estimado en un principio. Esto viene a afectar, positivamente, los costos de operación, los cuales se ven directamente beneficiados, ya que pueden disminuir todavía un poco más de lo establecido.

Este ahorro en el consumo de combustible se le atribuye, especialmente, al uso del embrague del ventilador, el cual podría llegar hasta un 25% como se había previsto desde un principio, pero, dependerá mucho de las situaciones específicas de cada viaje, por ejemplo: tiempo en cola, accidentes, lluvia, tiempo de carga en el campo, etc.

### **5.2.4. Potencia**

El piloto asignado para esta prueba debe ser alguien con suficiente experiencia. Esta persona, después de los dos días de pruebas, expone sus comentarios acerca del nuevo rediseño, haciendo énfasis, principalmente, en la disminución de la velocidad de la máquina. De igual forma comenta el hecho de que el cabezal tiene más potencia, esto, debido al cambio en los diferenciales, repercutiendo éste cambio, en la sincronía de los cambios en la caja de velocidades. Por lo tanto, expresa que el cabezal tiene más potencia, que es lo que se logra al aumentar la tracción efectiva neta.

Esta experiencia debe trasladarse al resto de los pilotos de la flota de transporte, para que se les empiece a educar y preparar en relación a los futuros rediseños de las otras unidades.



## 6. RESULTADOS DEL REDISEÑO

### 6.1. Análisis de ventajas y diferencias

Tiene grandes ventajas el realizar este tipo de rediseños, especialmente, en maquinarias como las que tenemos en Guatemala. Esto permite estar cada día más actualizados y competitivos, pero, lo que es más importante es que hace más eficientes a las personas en la operación, ya que entre más eficiente sea el personal, más productividad se obtendrá.

Se hará un resumen de las ventajas y diferencias que existen entre un camión rediseñado y un camión sin rediseño para, posteriormente, presentar los resultados principales que son los costos de operación y la productividad obtenida con base en el rediseño.

- ⇒ El embrague del ventilador, a diferencia del ventilador fijo, funciona únicamente cuando el sistema de refrigeración lo necesita, logrando con esto un ahorro en potencia y en combustible.
  
- ⇒ La canasta de clutch utiliza discos con fricciones de material cerámico y éstos son de mejor calidad que los orgánicos, ya que duran de dos a tres veces más, debido a que el material cerámico es un material más duro que el orgánico, por lo tanto, sufre menos desgaste. Por otro lado, debido a la dureza del material cerámico, tanto el volante del motor, el separador de los discos de clutch y el espejo de la canasta pueden llegar a sufrir un desgaste mayor que con discos de material orgánico, si no

es utilizada adecuadamente la canasta. Este uso adecuado, depende únicamente del piloto.

- ⇒ La canasta de clutch con discos orgánicos es más barata que la de discos cerámicos, por lo que el presupuesto podría verse afectado, dependiendo de la decisión del Superintendente del taller, en cuanto a qué tipo de canasta prefiera instalar.
- ⇒ Una ventaja de este rediseño es que con una inversión, relativamente baja, se puede dar un mejor aprovechamiento a los cabezales y no recurrir a la compra de cabezales nuevos, especialmente, diseñados para una operación cañera. Por lo tanto, se logra optimizar los recursos actuales, que es lo que todo tipo de empresa busca, constantemente.
- ⇒ Con el cambio en el ratio de los diferenciales se obtiene una disminución en la velocidad de manejo, logrando como efecto indirecto pero muy importante, una disminución en la probabilidad de accidentes. Pero el hecho de que se haya disminuido la velocidad de manejo no quiere decir que afecte al número de viajes por día, los cuales siguen en su promedio normal.
- ⇒ A diferencia de un cabezal usado, el cabezal rediseñado logra disminuir las fallas por sobrecargas, lo cual se refleja en los costos de mantenimiento correctivo y un aumento en la disponibilidad de la máquina.

Con estas premisas se procede a presentar los resultados finales de los costos de operación y productividad, luego de realizar el rediseño en su totalidad.

### 6.1.1. Costos de operación

Con base en los resultados obtenidos en la prueba piloto, se procede a calcular los costos de operación reales del cabezal en cuestión. Para este cálculo se toma en cuenta, sobre todo, las lecturas obtenidas en la báscula y el consumo de combustible reportado por la gasolinera. El aumento de la carga real será de un 23% contra el 30% que se había pronosticado anteriormente.

TONELADAS TRANSPORTADAS POR AÑO ZAFRA	20,000	50 TON X VIAJE X 3 VIAJES DIARIOS
COSTO POR TONELADA ACTUAL		U.\$ 1.17
COSTO TOTAL POR AÑO ZAFRA		U.\$ 23,400.00
TONELADAS TRANSPORTADAS CADA 3 AÑOS	60,000	U.\$ 70,200.00
(+) EL 23% DE AUMENTO EN LA CANTIDAD DE CARGA TRANSPORTADA	<u>+ 13,800</u> 73,800	
TONELADAS TRANSPORTADAS POR AÑO CON AUMENTO	24,600	

Como el aumento en el consumo de combustible fue de un 15% y no de un 25% pronosticado los datos quedan de la siguiente forma:

<b>Costo /tonelada real</b>	<b>U.\$.</b> 1.17	U.\$.	0.41	35% combustible
		U.\$.	0.614	15% del combustible
		U.\$.	<u>0.0819</u>	7% llantas y otros.
	<b>Total</b>	<b>U.\$.</b>	<b>0.1433</b>	

Lo que representa un 12.25% de aumento en el costo real, es decir:

$$(60,000 \text{ ton})(\text{U.S.}\$ 1.17/\text{ton-km})(1.1225 \text{ incremento}) = \text{U.S.}\$ 78,799.50; \text{ y}$$

un 23% de aumento en la carga transportada real, es decir:

$$(60,000 \text{ ton})(1.23 \text{ incremento}) = 73,800 \text{ toneladas}$$

lo que deja un costo real de:

$$\frac{\text{U.S.}\$ 78,799.50}{73,800 \text{ toneladas}} = \text{U.S.}\$ 1.07 / \text{ton-km}$$

En la siguiente tabla se presenta un comparativo de cómo quedan los datos después de realizado el rediseño real contra el rediseño teórico y la situación actual:

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ACTUAL (SIN REDISEÑO)</b>	<b>CON REDISEÑO TEÓRICO</b>	<b>CON REDISEÑO REAL</b>
<b>TON transportadas cada 3 años</b>	60,000	78,000	73,800
<b>Costo por tonelada</b>	U.S. 1.17	U.S. 1.04	U.S. 1.07
<b>Aumento costo/TON con aumento de carga transportada</b>	15.75%		12.25%
<b>Aumento de carga transportada</b>	-	30%	23%
<b>Disminución del costo de transporte por TON-KM</b>	-	10%	8.74%

**Tabla No. VII. Comparativo de parámetros situación actual-rediseño**

### **6.1.2. Rendimiento con rediseño**

Se define la productividad con que operan los cabezales rediseñados no sólo con base en la tracción efectiva neta, estartabilidad y gradeabilidad sino que, también, a los resultados de la prueba piloto para los aumentos en toneladas transportadas y costos de operación.

Con base en la relación del aumento de la cantidad de carga transportada y el costo de operación con rediseño se obtiene el siguiente resultado:

- aumento del total de toneladas transportadas en la zafra al menos un 23%;
- disminución del costo de transporte por tonelada-kilómetro igual a un 8.74%.

## CONCLUSIONES

1. Con el rediseño de los componentes en los cabezales se logra un aumento en la carga transportada durante la zafra de, por lo menos, un 23%.
2. De la misma forma se obtiene una disminución en el costo de operación por tonelada kilómetro de un 8.74 % mínimo.
3. Es importante el cambio de la canasta de clutch, ya que, de ésta dependerá una buena transmisión de potencia y velocidad hacia el resto del tren motriz. De la misma manera se debe cambiar para que soporte los torques a los cuales se somete el camión con el incremento de carga.
4. En el cambio de la relación en el ratio del diferencial radica, en gran parte, el aumento de la cantidad de carga transportada, debido al incremento de un poco más del 50% en el torque ejercido del diferencial a las llantas.
5. El rediseño en los componentes de los camiones aumenta, sustancialmente, el porcentaje de disponibilidad de las unidades, lo que eficiente aún más la operación del transporte
6. Las empresas que se dedican a la operación de transporte pesado, deben tener muy en cuenta la importancia de escoger, adecuadamente, los componentes de sus unidades, al momento de adquirir maquinaria nueva o usada para su flota de transporte, para que operen más eficientemente.

7. El rediseño en maquinarias industriales es de gran importancia para el avance de las empresas, ya que, esto permite aumentar los niveles de eficiencia y productividad y estar cada día más a la vanguardia de la tecnología.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar componentes genuinos, tanto para el rediseño como para todas las reparaciones en general, ya que, esto permite aumentar la vida útil de todos los componentes.
2. Hacer el rediseño en todos los cabezales en la medida que sea posible para lograr, así, un aumento de la productividad del departamento de transporte y taller.
3. Llevar un buen control de los mantenimientos preventivos, especialmente, en los diferenciales (retenedores del tren motriz) evitando con esto, fugas de aceite y contaminación del aceite en los diferenciales. Ya que se hace una gran inversión en los componentes de rediseño del diferencial como para que se echara a perder sólo por negligencia en mantenimiento.
4. Capacitar a los pilotos de las flotas de transporte. Con esto se logrará que el piloto opere eficientemente el cabezal, ya que de nada sirve un camión rediseñado y un mal piloto.
5. Con el rediseño se logra aumentar la capacidad de carga de los cabezales pero, a la vez, se violan aún más los pesos máximos de carga permitidos por la ley en carreteras. Por lo que las unidades que no cumplan dicho reglamento, no deberían circular por carreteras nacionales, pues, las dañan y estas unidades pueden ser sancionadas.



## REFERENCIAS

1. Bob Geisert, Applications Engineering Data Book. PACCAR International Inc. (USA, 1,994) pp. 1-34.
2. Burgio, Cooney + Associates, Profesional en Repuestos. Paccar Parts. (USA, 1,998) pp. 1-10.
3. Leland T. Blank & Anthony J. Tarquin, Ingeniería Económica. (3ª. ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1,993) pp. 78-86.
4. PACCAR International Inc, The Canny Mechanic. (USA, 1,991) pp. 1-29.
5. Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones. Acuerdo Gubernativo No. 1084-92, Palacio Nacional, Guatemala, 30 de diciembre de 1,992.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AVALLONE, Eugene y Theodore Baumeister. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ª. edición. México: Editorial McGraw Hill. 1,995.
2. BLANK, Leland y Anthony J. Tarquin. Ingeniería Económica. 3ª. edición. México: Editorial Mc Graw Hill, 1,993.
3. COONEY, Burgio & Associates. Profesional en Repuestos. USA: Paccar Parts, 1,998.
4. DICCIONARIO técnico en ingeniería. México: Ediciones G. Gili, S.A. de C.V. 1994.
5. ESPECIFICACIONES de motores Diesel. Cummins Engine Company Inc.(USA) (Boletín No. 3382761 & 3382821). 1,985.
6. ESPECIFICACIONES condensadas de transmisiones y diferenciales. Eaton Axle and brakes. Copyright Eaton Corporation. (USA) (Boletín AXSL-1079-R5). 1,997.
7. ESPECIFICACIONES condensadas de transmisiones. Eaton Fuller. Copyright Eaton Corporation (USA) (Boletín TRSLS-0003-R2). 1,997.
8. GEISERT, Bob. Applications Engineering Data Book. USA: Paccar International Inc., 1,994.
9. LÓPEZ, Marco Vinicio. Administración del mantenimiento de flotas para vehículos. Tesis Ing. Mecánico Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1,995.
10. "MECÁNICA Aplicada". Biblioteca del Mecánico. México: Ediciones Gili, S.A. de C.V. 1995.
11. PACCAR International Inc, The Canny Mechanic. USA, 1,991.

12. **Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones. Acuerdo Gubernativo No. 1084-92, Palacio Nacional, Guatemala, 30 de diciembre de 1992.**

## ANEXOS

Como anexo se presentan todas las conversiones del Sistema Inglés al Sistema Internacional, de las unidades de medidas que se utilizan en el desarrollo del trabajo.

<b>Sistema Inglés</b>	<b>Sistema Internacional</b>
1 milla/hora	1.609 kilómetros/hora
1 libra	0.4536 kilogramos
1 pulgada	0.0254 metros
1 libra-pie (fuerza)	0.1383 kilogramo-metro (fuerza)
1 Caballo de potencia (HP)	76.04 Kgf-metro por segundo
1 litro	0.2642 galones
1 pulgada cúbica	16.39 centímetros cúbicos
1 mililitro	1 centímetro cúbico