

3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA  
UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS**

291537

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

**( Á R E A D I S E Ñ O )**

**P R E S E N T A**

**ENRIQUE CASTREJÓN RODRÍGUEZ**

Director de tesis : Dr. Marcelo López Parra

Codirector : Ing. Gustavo Valeriano Barrientos



CIUDAD UNIVERSITARIA

Abril de 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIA

A mamá:

Mami, finalmente terminé una de las etapas más trascendentes en mi vida y en realidad todo se ha debido al esfuerzo que haz realizado para mantener a tu lado a mi papá, dándole el amor, la fortaleza y el ímpetu que lo han ayudado a ser el hombre honesto y ejemplar que veo en él; por educar y atender a tus hijos en quienes he encontrado el apoyo de hermanos; por enseñarme a dar y recibir cariño he tenido la fortuna de contar con Rocío, la pareja que me complementa; por mantener a esta familia unida, llena de cariño y de valores humanos en los que encontré el estímulo para aspirar a la profesión que me ha permitido convivir con la gente que ha forjado mi carácter y me brindado su amistad y consejo. En fin, porque representas la fuerte base de mi familia y de mi persona

Gracias

IMPRESOS  
*M***OYA**

TESIS  
URGENTES

LIBROS \*  
FOLLETOS \*  
OFFSET \*  
SOCIALES \*

*Agustín Juárez S.*

CUBA No. 99 DESP. 1, 1er. PISO  
COL. CENTRO

MEXICO, D.F.  
CEL. 044-2111-4601

## AGRADECIMIENTOS

Éste representa mi último trabajo académico y mi primer trabajo profesional, en él he puesto mi mejor esfuerzo para corresponder a la preparación que dentro de la Universidad me han brindado mis profesores y compañeros a todos ellos

Gracias

De manera muy especial, con afecto y respeto a mis profesores y compañeros del Centro de Diseño y Manufactura, de quienes he aprendido enormemente durante los agradables cinco años que he formado parte del personal.

Ing. Adrián Espinoza, M.I. Leopoldo González, Ing. Gustavo Valeriano, Dr. Vicente Borja, Ing. Cesar Flores, Dr. Saúl Santillán, M.I. Armando Ortiz, Dr. Marcelo López, M.I. Víctor González, Ing. Magdalena Trujillo, M.I. Antonio Zepeda, Ing. Jaqueline Guadarrama, Ing. Mariano García, M.I. Ubaldo Márquez, Dr. Alejandro Ramírez, M.I. Jesus M. Dorador, M.I. Luis M. González, Ing. Oscar Herrera, Ing. Luis Guevara, D.I. Angel Rodríguez, Ing. Glendy Hernández, Ing. David Hernández, P.T. Eduardo Valencia, Ing. Angel Muñoz, Ing. Gustavo Olivares, Lic. Pablina Trápala, Sr. Alberto Vargas, Ing. Jesús Trenado, Lic. Brenda Bonilla, Ing. Gerardo Alvarez, Lic. Araceli Trápala, Claus, Edith, Elizabeth, Ivonne, Jorge García, Paty, Mary, Pao, Maru, Angel y Oswaldo.

Gracias

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<i>i</i>
<b>OBJETIVOS</b>	<i>ii</i>
<b>I. ANTECEDENTES</b>	
I.1 Descripción del proyecto	1
I.2 Análisis de la necesidad	2
I.3 Acotación del problema	2
I.4 Elaboración de especificaciones	3
I.5 Alcances	4
<b>II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS</b>	
II.1 Descripción del sistema de la dirección del Chasis RAM 3500	5
II.1.1 Mando de la dirección	5
II.1.2 Mecanismo de acoplamiento	7
II.2 Estudio descriptivo del Mecanismo de Acoplamiento	8
II.3 Principales Cualidades de la dirección	9
<b>III. CONCEPTOS DEL DISEÑO</b>	
III.1 Estudio del problema	10
III.2 Descomposición funcional	11
III.3 Análisis de funciones	11
III.4 Opciones de solución	12
III.5 Selección de la solución	14
<b>IV. DETALLES DEL DISEÑO</b>	
IV.1 Descripción de la solución	15
IV.2 Configuración	15
IV.3 Dimensionamiento y selección de componentes	16
<b>V. MEMORIA DE CÁLCULOS</b>	
V.1 Cálculo de parámetros de acoplamiento	19
V.1.1 Planteamiento	20
V.1.2 Desarrollo	21
V.1.3 Resultados	24
V.2 Análisis estático de fuerzas	25
V.2.1 Reducción del sistema de fuerzas	26
V.2.2 Cálculo de reacciones	27
V.2.3 Cálculo de esfuerzos en la barra	28
<b>VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	30
<b>ANEXOS</b>	31
Anexo 1	31
Anexo 2	34
Anexo 3	35
Anexo 4	36
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	41

## **INTRODUCCIÓN**

Durante mucho tiempo, el desarrollo de vehículos impulsados por motores distintos a los de combustión interna ha sido objeto de grandes estudios e investigaciones. En años recientes se ha acentuado el interés en la construcción de vehículos impulsados por motores eléctricos. Como éste tipo de vehículos emplea baterías recargables, cuya capacidad, es aún muy limitada, se buscan soluciones para reducir el peso muerto y aumentar la eficiencia de todos sus sistemas. No obstante, y a pesar de que su costo aún es elevado, en varios países ya se han construido vehículos eléctricos para distintos servicios y propósitos comerciales.

El trabajo que se presenta en esta tesis, forma parte de un proyecto desarrollado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México para construir un Vehículo Eléctrico de pasajeros (VEP). Este documento está estructurado en orden lógico, con la intención de que el lector siga paso a paso el desarrollo del proyecto, analice la información proporcionada, y aprecie los problemas y soluciones planteados. Para proporcionar un panorama completo, esta tesis se divide en seis secciones o capítulos, los cuales se describen a continuación:

**ANTECEDENTES.** Se describe brevemente el proyecto de Diseño y Construcción de un VEP, del cual se desprende el presente trabajo. Esta sección es de gran importancia, pues en ella se plantean las necesidades, con base en las cuales, se establece el problema a resolver y se describen las especificaciones del proyecto.

**DEFINICIONES Y CONCEPTOS.** En este capítulo se reúne, organiza y sintetiza la información teórica y técnica relacionada con el sistema de dirección del VEP. Esto permite hacer uniformes los conceptos que se manejan en este trabajo y facilitan el entendimiento de los problemas y soluciones planteados.

**CONCEPTOS DEL DISEÑO.** Aquí se concentran las hipótesis generadas a partir del análisis de la información teórica y técnica, incluyendo la reunida en campo. A partir de dichas hipótesis se proporcionan diversas alternativas de solución, se evalúan y se selecciona aquella que mejor cumple con las especificaciones.

**DETALLES DEL DISEÑO.** A partir de la alternativa seleccionada como solución, se proponen componentes y se diseñan elementos, auxiliándose de los cálculos necesarios. Como resultado de esta etapa se obtienen planos de fabricación y de ensamble, estimación de recursos, tiempo de desarrollo, etc.

**MEMORIA DE CÁLCULOS.** Se incluyen en este capítulo los cálculos más importantes para dimensionar componentes y elementos. Esta sección es muy importante porque contiene un procedimiento analítico que emplea herramientas de cálculo muy sencillas para analizar cuantitativamente los problemas que se presentan y facilitar la determinación de soluciones específicas.

**CONCLUSIONES.** Se proporcionan, en este capítulo, los resultados obtenidos en función de la factibilidad del proyecto y de los objetivos planteados.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

- Presentar una solución para el rediseño del sistema de dirección del chasis RAM 3500 que se empleó en la construcción de un vehículo eléctrico de pasajeros (VEP).

### Objetivos específicos

- Mostrar el procedimiento que se siguió para rediseñar el sistema de la dirección del chasis RAM-3500.
- Documentar la información generada durante el desarrollo de este proyecto.
- Ilustrar un caso práctico de diseño mecánico.

## I. ANTECEDENTES

### I.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En 1998 el Instituto de ingeniería (II) de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó un convenio con el Gobierno del Distrito Federal para desarrollar y construir un Vehículo Eléctrico para transporte de Pasajeros (VEP)<sup>1</sup> en colaboración con el Centro de Diseño y Manufactura (CDM) de la Facultad de Ingeniería. Durante el mismo año se adquirió un chasis de la marca CHRYSLER tipo RAM 4500<sup>2</sup> (ilustración 1a), con la intención de acondicionarlo para la construcción del VEP, también conocido como Electrobús (ilustración 1b).

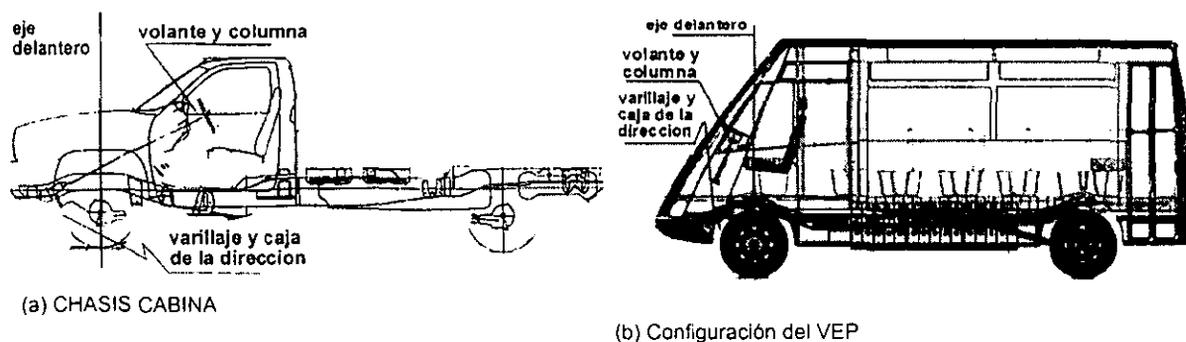


Ilustración 1

Como este chasis no incluía el motor convencional de combustión interna, sistemas auxiliares (lubricación, enfriamiento, combustible, escape, etc.), ni el sistema de transmisión, el acondicionamiento consistió en:

- Montar un par de motores eléctricos y un reductor de velocidad, ubicados al nivel de la estructura, en la parte posterior del eje delantero.
- Instalar un banco de baterías recargables sobre la estructura para alimentar a los motores.
- Instalar un sistema eléctrico especial para la operación del VEP.
- Acoplar el sistema motriz con un diferencial en el eje trasero empleando una flecha cardán.
- Cambiar la carrocería tipo cabina por una carrocería especial para transporte de pasajeros.
- Distribuir el espacio interior para colocar asientos de pasajeros, pasamanos y puertas de ascenso y descenso.

<sup>1</sup> Similar a los llamados minibuses que transportan pasajeros en el Distrito Federal.

<sup>2</sup> A pesar de que se empleó un chasis 4500, la información con que se contaba correspondía a un chasis 3500, por esta razón, este proyecto está basado en las características del chasis Ram 3500.

## I. ANTECEDENTES

### I.2 ANÁLISIS DE NECESIDAD

Debido a la forma en que se había distribuido el espacio interior, se pretendía reubicar la posición del conductor, lo que implicaba cambiar la posición del volante de la dirección. En la configuración original (ilustración 1a), el volante se encontraba atrás del eje delantero y la columna de la dirección estaba inclinada 25° con respecto a la horizontal. En el VEP, se necesitaba colocar el volante ligeramente adelante del eje delantero<sup>3</sup> pero se desconocía cómo debía orientarse la columna y acoplar el eje del volante con la caja de la dirección (ilustración 1b).

Concretamente:

- Se pretende: *cambiar la ubicación del conductor y del volante para aprovechar mejor el espacio en el interior de la carrocería,*
- Se requiere: *que el sistema de la dirección del Chasis RAM 3500 se ajuste a las nuevas condiciones.*

### I.3 ACOTACIÓN DEL PROBLEMA

Refiriéndose nuevamente a la ilustración 1, se observa que al cambiar la ubicación del volante, la columna y la caja de la dirección no se podían acoplar directamente como en la configuración original, porque la longitud y orientación del eje de la columna no coincidían con la caja de la dirección<sup>4</sup>. A pesar de que esta situación impedía la conducción del VEP, el resto de los sistemas (carrocería, estructura, suspensión, transmisión, etc.) ya estaban definidos en función de las características del Chasis RAM 3500. En estas condiciones, el problema estaba claramente restringido al rediseño del sistema de la dirección.

Planteamiento:

- Rediseñar el sistema de la dirección del Chasis RAM 3500 manteniendo las siguientes restricciones.
- Conservar la posición sugerida para el volante del VEP. (Anexo 2)
- Respetar las dimensiones del Chasis RAM 3500. ( Anexo 1)
- Respetar las características de la carrocería del VEP (Anexo 2).
- Evitar modificaciones drásticas (como soldadura, perforación, deformación, etc.) a los componentes de la suspensión, al chasis o a la carrocería.

<sup>3</sup> Esta última posición del volante (Ver especificación en Anexo 2) se determinó con base en espacio interior disponible para aprovechar mejor el espacio interior de la carrocería y permitir el paso libre de pasajeros, sujetándose a normas de seguridad y principios ergonómicos que no se citan en este trabajo.

<sup>4</sup> Para más detalles ver Estudio del Problema en sección 3.1

**I. ANTECEDENTES**

**I.4 ELABORACIÓN DE ESPECIFICACIONES**

Como resultado de algunas reuniones de trabajo con los responsables del proyecto, se elaboraron las especificaciones para rediseñar sistema de dirección del Chasis RAM 3500 de acuerdo con la siguiente descripción (tabla 1):

Se asoció a cada requerimiento del proyecto un parámetro de diseño y se asignó a éstos una escala cualitativa basada en la experiencia técnica y en los criterios de los responsables. Se empleó la calificación de "1" para establecer un valor aceptable, "2" para un valor deseable y "0" para un valor inconveniente.

**Tabla 1  
ELABORACIÓN DE ESPECIFICACIONES**

Id	Requerimientos	Parámetros	Escala
A	Que se pueda conducir el VEP desde un volante ubicado según dibujo (Anexo 2)	Aproximación al Funcionamiento	Mayor =2
			Aceptable=1
			Menor =0
B	Que existan pocos juegos y holguras entre piezas	Mayor Precisión	Mayor =2
			Aceptable=1
			Menor =0
C	Que se emplee la menor cantidad de piezas de fabricación especial	Menos Piezas	Mayor =0
			Aceptable=1
			Menor =2
D	Que los elementos se puedan armar, montar y desmontar con facilidad.	Mayor facilidad de Ensamble	Mayor =2
			Aceptable=1
			Menor =0
E	Que se mantenga la relación entre un ángulo de giro del volante y el ángulo correspondiente de orientación de las ruedas con respecto al sistema original.	Menor modificación a la Relación de la dirección	Mayor =0
			Aceptable=1
			Menor =2
F	Que se requieran pocos ajustes, calibraciones, engrasados y limpieza en los elementos.	Menor Mantenimiento	Mayor =0
			Aceptable=1
			Menor =2
G	Que el riesgo de falla de los elementos que pudieran causar pérdida de la función sea reducido.	Mayor Seguridad	Mayor =2
			Aceptable=1
			Menor =0
H	Que los costos estimados de ingeniería, materiales y mano de obra sean bajos.	Menor Costo	Mayor =0
			Aceptable=1
			Menor =2
I	Que se requiera menor tiempo de diseño y construcción.	Menor Tiempo	Mayor =0
			Aceptable=1
			Menor =2

**I. ANTECEDENTES**

Considerando las características del proyecto, se estableció la importancia de cada parámetro comparándolos entre sí (tabla 2). El peso de cada parámetro, dado como un porcentaje, representa la prioridad de éste con respecto a los otros.

**Tabla 2  
PESO DE LOS PARÁMETROS<sup>5</sup>**

PARÁMETROS	A								B				C				D				E				F				TOTAL	PESO (%)									
	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	O	I	O	I	I	O	O	I	O	O	O	O	O	O	I	O	O	I			O	I	O	O	O	O			
A) FUNCIONALIDAD	I	I	I	I	I	I	I	I																											8	21.6			
B) PRECISIÓN	O								I	I	O	I	O	I																						5	13.5		
C) # PIEZAS									O																												1	2.7	
D) ENSAMBLE																																					2	5.4	
E) R. DIRECCIÓN																																					6	16.2	
F) MANTENIMIENTO																																					2	5.4	
G) SEGURIDAD																																						7	18.9
H) COSTO																																						1	2.7
I) TIEMPO																																						5	13.5
TOTALES																												37	100.0										

Para establecer una referencia en los criterios de evaluación, se asignaron calificaciones al sistema de dirección original y se ponderaron con los pesos de los parámetros (tabla 3).

**Tabla 3  
EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE LA DIRECCIÓN  
DEL CHASIS RAM-3500**

OPCIÓN (ID)	PARÁMETROS (VALOR/VALOR PONDERADO)																		TOTALES	
	A		B		C		D		E		F		G		H		I		PARCIAL	PONDERADO
RAM 3500	2	43.2	1	13.5	1	2.7	2	10.8	2.0	32.4	2.0	10.8	2.0	37.8	1.0	2.7	1.0	13.5	14.0	167.4

Finalmente, de acuerdo con ésta última referencia, se consideró que una solución estaría dentro de especificación si en su evaluación obtenía cuando menos una calificación aceptable (valor "1") en cada parámetro y cumplía además con las restricciones mencionadas en la sección 1.3.

**1.5 ALCANCES**

Se estableció que la necesidad quedaría cubierta cuando pudiera conducirse el VEP con un volante instalado en la posición indicada en el Anexo 2, entregando para esto, los dibujos correspondientes y los detalles completos sobre la propuesta de solución.

<sup>5</sup> Tomando el parámetro A) se compara con cada uno de los parámetros de los renglones restantes, asignando "1" al parámetro que tenga prioridad y "0" al otro. Los resultados forman columnas que se agrupan bajo el encabezado que corresponde al parámetro A. Aplicando este procedimiento a los parámetros restantes se obtienen los resultados de la tabla 2. La columna de totales está formada por la suma de los valores contenidos en los renglones de cada parámetro. El peso de cada parámetro se obtiene al dividir el total parcial que le corresponde entre la suma de todos los totales parciales, expresado en porcentaje.

## II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

### II.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LA DIRECCIÓN DEL CHASIS RAM 3500

El chasis RAM 3500 original está equipado con un Sistema de dirección hidráulica integral de bolas recirculantes. Su función principal es controlar la dirección de las ruedas delanteras. Este sistema presenta las siguientes características:

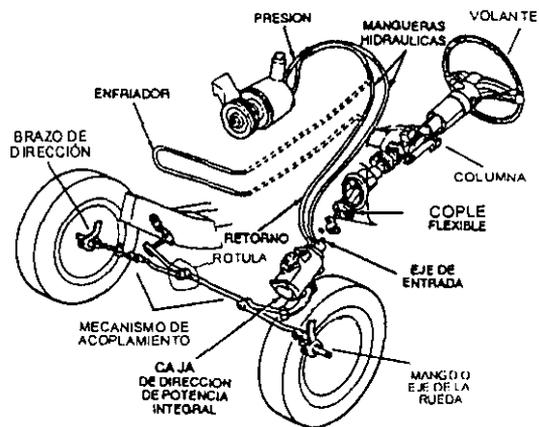
- Reduce el esfuerzo requerido en el volante para realizar los virajes.
- Mantiene su posición durante la marcha.
- Interactúa con el conductor para auxiliario en la corrección de la dirección.
- Soporta los golpes que las ruedas delanteras reciben al pasar obstáculos o baches.
- Permite que las ruedas delanteras se muevan libremente hacia arriba y hacia abajo en cualquier posición de la dirección.

Para los fines de este trabajo, los componentes principales de la dirección se organizan en dos subsistemas principales: el mando de la dirección y el mecanismo de acoplamiento (Ilustración 2)

#### II.1.1 MANDO DE LA DIRECCIÓN:

Recibe el movimiento que impone el conductor, lo transforma y lo transmite al varillaje. Está formado por el volante, la columna, el eje y la caja de la dirección.

El volante es la interfase entre el conductor y el sistema de dirección. Se ensambla en el extremo superior de la columna y está construido de tal forma que se pueda deformar en caso de una colisión.



Sistema de dirección hidráulica integral de bola recirculante.

#### Ilustración 2

La columna está compuesta de un eje que gira con el volante, un tubo de soporte, concéntrico con el eje, y un tubo de protección, concéntrico también, que debe deformarse en caso de impacto con el objeto de reducir daños al conductor (ilustración 3). El eje de la columna está sostenido por dos rodamientos colocados en los extremos del tubo de soporte. Este eje se extiende más allá del tubo de soporte y se conecta con la caja de la dirección empleando una doble junta universal de cambio rápido<sup>1</sup> y un cople flexible<sup>2</sup>. El eje de la columna y el eje de la dirección (contenido en la caja) se encuentran en planos verticales paralelos y ambos ejes están inclinados 25 grados con respecto a la horizontal. Se emplean bridas para montar el extremo superior de la columna sobre el tablero y el extremo inferior al piso.

<sup>1</sup> La longitud de la junta universal es variable para facilitar su ensamble y desensamble, y para corregir la distancia entre extremos cuando ésta gira.

<sup>2</sup> El cople flexible es para compensar ligeras desalineaciones.

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS

## II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

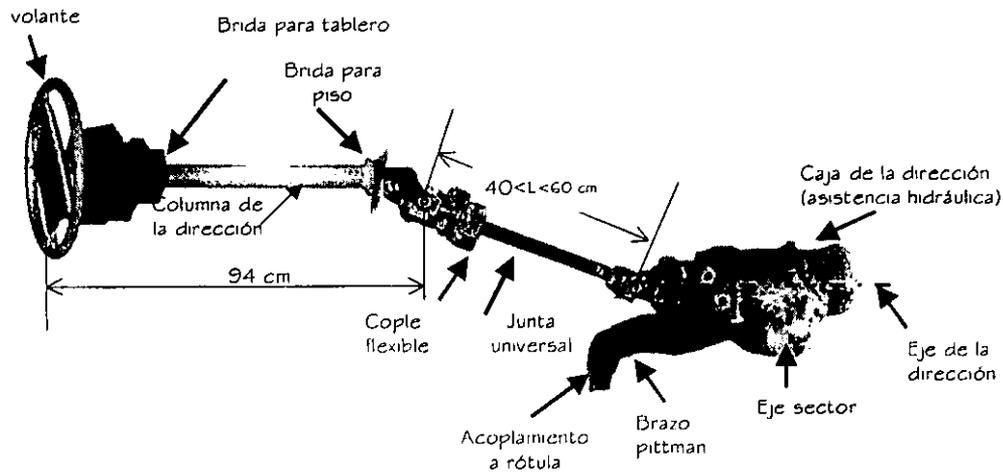


Ilustración 3

La caja de la dirección se emplea para reducir el esfuerzo que es necesario para mover las llantas y transmitir el movimiento del volante al mecanismo de acoplamiento.

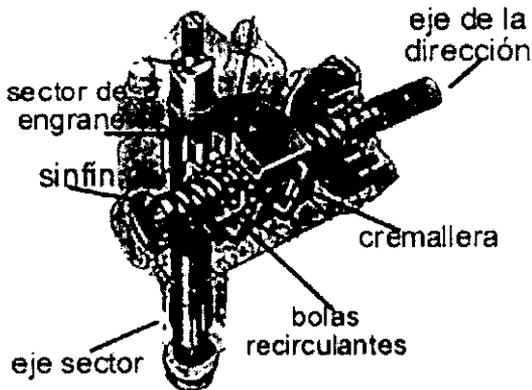


Ilustración 4

El tipo de bolas recirculantes (ilustración 4), consiste en una cremallera de bolas montada sobre un eje sin fin. La cremallera es impulsada por bolas de acero reforzado que circulan en ranuras de la misma y el sinfín. Cuando gira el sinfín, la cremallera se desplaza. Este movimiento hace girar a un sector de engrane en la flecha del brazo pitman.

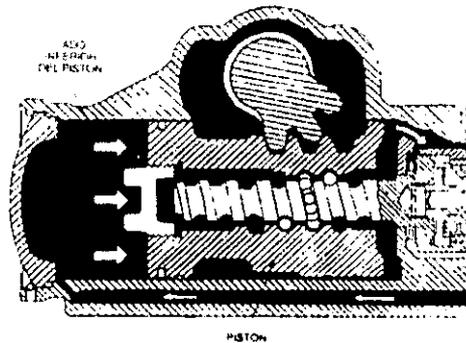


Ilustración 5

En el sistema con ayuda hidráulica (ilustración 5), la tuerca de bolas incorpora un pistón hidráulico, sobre el cual actúa la presión hidráulica para ayudar a la dirección. El ensamble de tuerca y pistón se desliza hacia delante y hacia atrás dentro de la carcasa de engranes. La presión hidráulica se aplica a uno u a otro lado del pistón, conforme el volante se gira hacia la derecha o hacia la izquierda.

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS

## II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

La caja de la dirección se fija con tres tornillos sobre el chasis, en una región del larguero izquierdo (ilustración 7) que ha sido deformada (en forma de "joroba") específicamente para alojarla de manera que su eje queda inclinado 25 grados con respecto a la horizontal. El eje sector y el eje de la dirección son perpendiculares pero no se interceptan. El extremo del eje sector tiene una sección estriada y perfil cónico sobre el que se ensambla el brazo pitman. En este lado de la caja de la dirección, el par es alto, en consecuencia las piezas son robustas y están endurecidas en comparación con las piezas de lado de bajo par (extremo del eje de la dirección) en el que las piezas son ligeras.

### II.1.2 MECANISMO DE ACOPLAMIENTO EN EL CHASIS RAM 3500

El mecanismo de acoplamiento (ilustración 7) está compuesto por el brazo pitman, la barra de la dirección y el varillaje. Su función principal es transferir el movimiento desde la caja de la dirección hasta los brazos o palancas que actúan sobre los mangos en los que giran las ruedas.

El brazo pitman (ilustración 7 a) es una especie de manivela que se ensambla al eje sector para transmitir el movimiento de la caja de la dirección al varillaje a través de la barra de la dirección.

El varillaje está compuesto por dos palancas o brazos (izquierdo y derecho), una barra que acopla ambos brazos y una barra fija en cuyos extremos se ubican las articulaciones o pivotes.

Las ruedas giran sobre los mangos y los brazos actúan sobre éstos produciendo los virajes de la rueda. En este caso los brazos y los mangos forman una sola pieza.

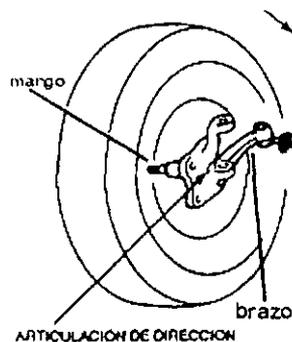
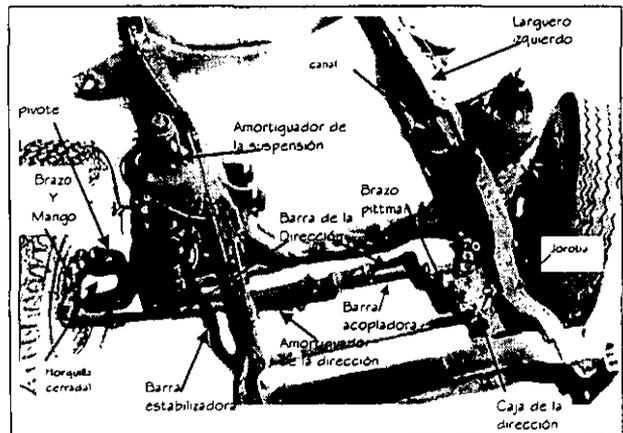


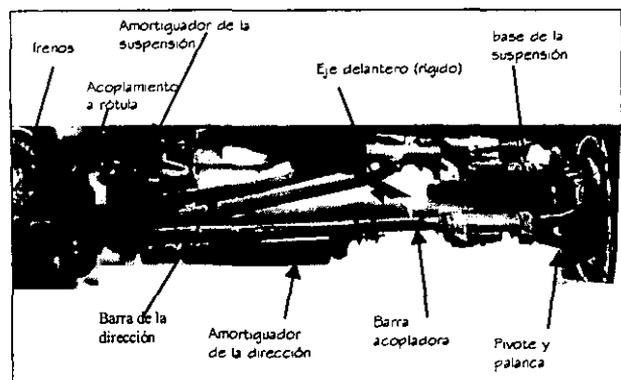
Ilustración 6

Las articulaciones de este mecanismo son rótulas (ilustración 7 b) que permiten la oscilación vertical de los elementos, debido a los efectos del sistema de la suspensión al pasar baches o cuando varía la

carga sobre el chasis. Además permiten pequeñas variaciones para ajustar la alineación de las ruedas.



7a Vista superior del mecanismo

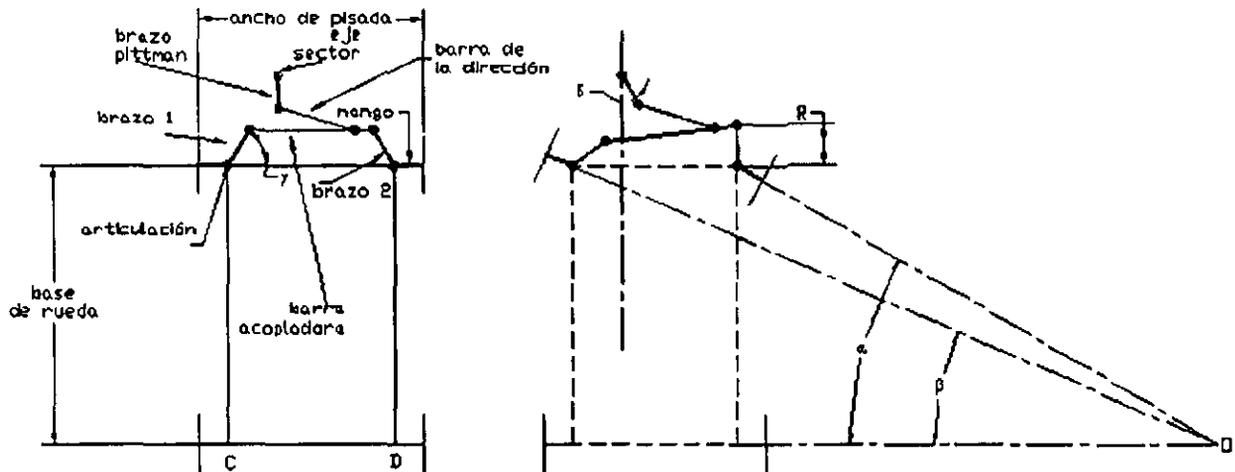


7b Vista frontal del mecanismo

Ilustración 7

II.2 ESTUDIO DESCRIPTIVO DEL MECANISMO DE ACOPLAMIENTO

Teóricamente, los componentes de la dirección deben actuar de tal manera que al virar una de las ruedas, la otra también vire el ángulo necesario para que los ejes los mangos se corten en un punto O conocido como centro instantáneo de rotación (ilustración 8 b).



8 a Mecanismo en avance recto

8 b Mecanismo en un viraje

Ilustración 8

En el mecanismo que se estudia (ilustración 8), una rotación  $\omega$  del volante transmite, a través de la caja de la dirección, un desplazamiento  $\delta$  al brazo pitman (ilustración 8 b) que está ensamblado al eje sector. Cuando el brazo pitman gira un ángulo  $\delta$  en sentido horario, empuja a la barra de la dirección, y ésta a su vez, obliga al brazo 2 a girar sobre su articulación un ángulo ( $\alpha$ ). Como el mango o eje de la rueda es solidario con el brazo, entonces tienen el mismo desplazamiento angular. La barra acopladora conecta al brazo 2 con el brazo 1, haciendo que éste último gire un ángulo ( $\beta$ ) sobre su articulación. Los brazos, de longitud R, forman un ángulo  $\gamma$  con respecto al eje delantero, cuando el vehículo está en posición de marcha recta. Los parámetros R y  $\gamma$  se relacionan con las medidas del chasis de acuerdo con la expresión:

$$R = \frac{1}{2} \left[ \frac{\text{Ancho de pisada}}{\cos \gamma} - \frac{\text{base de rueda}}{\sin \gamma} \right]$$

y definen la longitud de la barra acopladora. Debido a esta relación, los mangos de las ruedas pueden converger de manera muy aproximada al centro instantáneo de rotación<sup>3</sup>.

Finalmente, la relación entre un desplazamiento angular del volante y el ángulo de orientación que le corresponda se conoce como desmultiplicación de la dirección. Así, para una desmultiplicación de 20/1, un desplazamiento angular del volante de 20° corresponde a un ángulo de orientación de 1°. La desmultiplicación debe reducir el esfuerzo requerido por el conductor sin entorpecer las maniobras.

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS

## II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS

*En conclusión, la desmultiplicación depende de la relación de dirección ( $\omega/\delta$ ) en la caja de la dirección, la longitud del brazo pitman, de la barra de la dirección y de los brazos, de las dimensiones del chasis y de la posición relativa que ocupe cada elemento. El esfuerzo a desarrollar por el conductor depende, además del diámetro del volante, de la asistencia hidráulica sobre la caja de la dirección y de las condiciones dinámicas bajo las que opera el vehículo.*

### II.3 PRINCIPALES CUALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LA DIRECCIÓN

La seguridad.- Se refiere al riesgo de falla de los componentes. Depende de los materiales empleados, del proceso de fabricación y del mantenimiento. Está ligada a otras cualidades, particularmente la precisión, la estabilidad y la firmeza.

La suavidad.- Representa la facilidad con que puede operarse la dirección. La suavidad se consigue, principalmente, por una mecanización esmerada de todas las piezas, por un montaje preciso de todas las articulaciones, por una desmultiplicación importante, y por un engrase adecuado de todas las articulaciones.

La precisión.- Para lograr una conducción precisa al realizar un giro, el conductor, debe sentir en qué momento ha realizado el viraje que desea. Esto implica, entre otros factores, que existan pocos juegos y holguras en los elementos, una desmultiplicación adecuada y un buen mantenimiento.

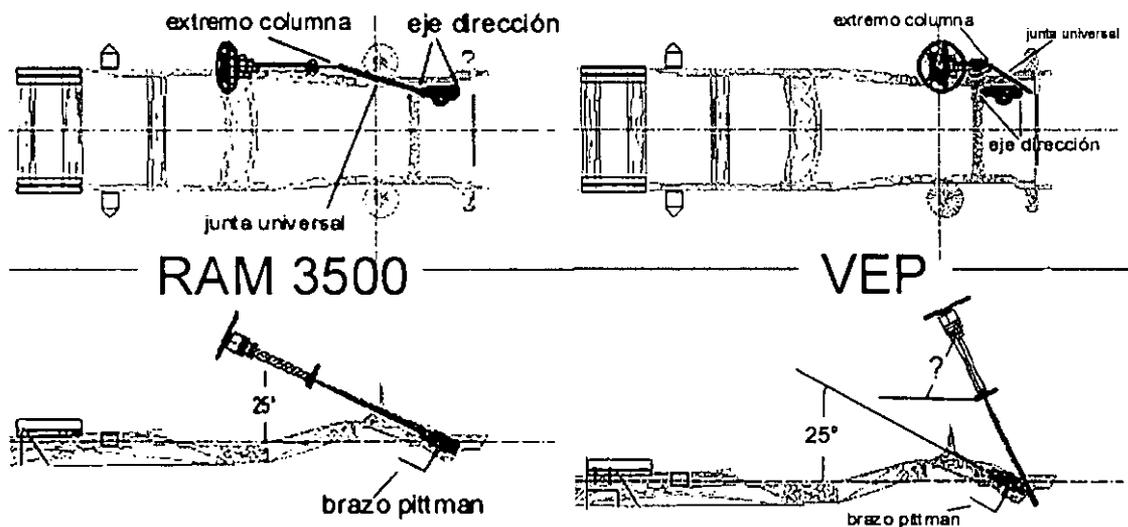
Irreversibilidad.- Si bien el volante acciona la orientación de las ruedas, es necesario, en cambio, que un choque sobre una de ellas sólo produzca una ligera reacción en el mismo. La irreversibilidad depende principalmente de las características del tornillo sin fin y de los engranes de la caja de la dirección

La estabilidad.- Estabilidad es la tendencia que tienen las ruedas directrices a recuperar la dirección de avance en línea recta después de un viraje o mantenerla en posición durante éste. La estabilidad depende particularmente de la exactitud de los elementos de reglaje y de los juegos u holguras.

Firmeza o compatibilidad de la dirección y de la suspensión.- Una dirección es tanto más firme cuanto menores sean los efectos de las desviaciones verticales sufridas por las ruedas. La falta de firmeza proviene de las uniones entre el chasis y las ruedas directrices. Ciertos componentes de la suspensión y de la dirección están por una parte enlazados al eje, y por otra al chasis o a la caja, siendo necesario que estas uniones sean tales que el funcionamiento de la suspensión no de lugar al desvío de las ruedas, esto es una cuestión de compatibilidad entre el varillaje de la dirección y el desplazamiento del eje o de las ruedas.

III.1 ESTUDIO DEL PROBLEMA<sup>1</sup>

Se ha mostrado que el varillaje está estrechamente relacionado con los elementos de la suspensión y con las dimensiones del chasis. Como la suspensión delantera es de eje rígido, el varillaje permanece en un solo plano, entonces la barra de la dirección oscila para mantener el acoplamiento entre el varillaje y el brazo pitman en cualquier posición de las ruedas y aún bajo el efecto de la suspensión, sin embargo, el brazo pitman y la barra de la dirección no se mueven en el mismo plano y tampoco están contenidas en el plano del varillaje.



9 a. Configuración de la dirección en el Chasis Ram 3500

9 b. Configuración de la dirección en el VEP.

Ilustración 9

El brazo pitman está contenido en un plano inclinado 25 (ilustración 9) grados con respecto a la horizontal, mientras que el varillaje está contenido en un plano paralelo a la horizontal. Además, el brazo pitman y el eje sector forman un ángulo de 90 grados y éste último también está a 90 grados con respecto al eje de la dirección, en consecuencia, el eje de la dirección también está inclinado 25 grados con respecto a la horizontal. *En el CHASIS RAM 3500 (ilustración 9 a) resulta sencillo el acoplamiento entre el eje de la dirección y el eje de la columna pues ambos ejes son paralelos y se encuentran a una distancia suficiente para conectarlas con la junta universal. Sin embargo en la configuración que requiere el VEP (ilustración 9 b), el extremo inferior de la columna se encuentra ligeramente por delante del eje de la dirección. Más aún, la configuración de la carrocería del VEP prácticamente condiciona a inclinar la columna de la dirección una cantidad de grados que tampoco se conoce. Así, a pesar de que la columna y el eje de la dirección se encuentren en planos paralelos, ya no se pueden conectar directamente porque no coinciden. El problema consiste en encontrar una forma de acoplar nuevamente la columna con la caja de la dirección, o bien, reorganizar todo el sistema.*

<sup>1</sup> Deben realizarse observaciones detalladas, investigación teórica y práctica para lograr un amplio conocimiento sobre el tema.

III.2 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

Considerando al sistema de la dirección como aquél que permite al conductor controlar la orientación de las ruedas, se estableció el empleo de tres subfunciones para lograr dicho propósito.

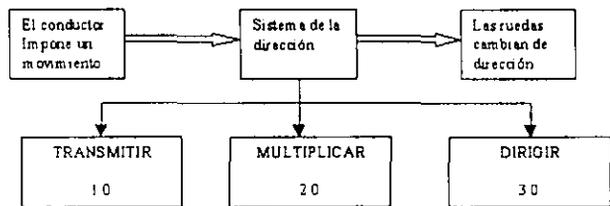


Diagrama de bloques funcionales  
Ilustración 10

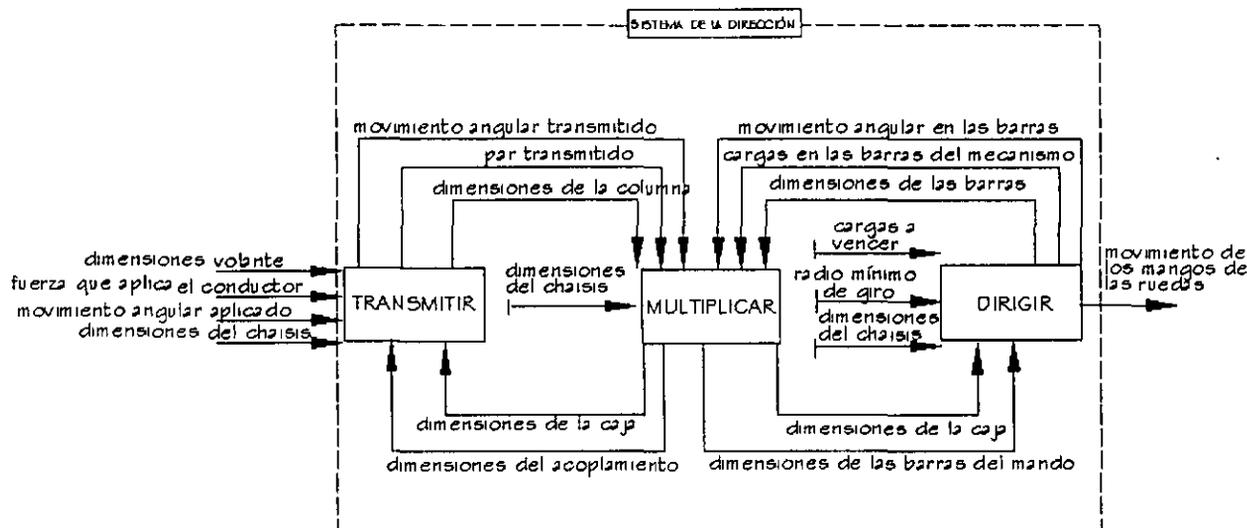
1.0 Transmitir .- Llevar el movimiento que impone el conductor desde el volante hasta la caja de la dirección a través de la columna y la junta universal.

2.0 Multiplicar .- Asignar ventajas mecánicas al movimiento que impone el conductor, incrementando el par y reduciendo el movimiento angular en la caja para transmitirlo a la barra de la dirección a través del brazo pitman que gira sobre el eje sector.

3.0 Dirigir .- Tomar el movimiento que suministra la barra de la dirección y transmitirlo a través de los eslabones del mecanismo de la dirección (varillaje) hasta los mangos de las ruedas.

III.3 ANÁLISIS DE FUNCIONES<sup>2</sup>

Con base en las tres subfunciones definidas se realizó un análisis para determinar el tratamiento adecuado que debía darse al problema.



Análisis de bloques funcionales  
Ilustración 11

Como resultado, se observó que para resolver la función de DIRIGIR se requería menos información en comparación con cualquiera de las otras y al mismo tiempo proporcionaba más información a las dos restantes. Bajo este criterio se estableció que el orden conveniente para resolver cada subfunción debía ser

<sup>2</sup> Las flechas representan flujo de información. La información necesaria para definir cada bloque funcional es proporcional con la cantidad de flechas que entran a éstos. La información que se obtiene de un bloque funcional definido es proporcional con la cantidad de flechas que salen de éste.

**III. CONCEPTOS DEL DISEÑO**

DIRIGIR, TRANSMITIR, MULTIPLICAR. Esto significa, en términos prácticos, que debía resolverse primer el varillaje que se emplearía, después ubicar la posición y orientación del volante y la columna, y finalmente debía instalarse la caja de la dirección y acoplarla con el varillaje y la columna.

**III.4 OPCIONES DE SOLUCIÓN**

En reuniones de trabajo con los responsables del proyecto, se definieron cinco conceptos de solución<sup>3</sup> para las tres subfunciones, estos conceptos son:

Emplear la configuración original.- En este caso se utilizaría cualquiera de los órganos de la dirección tal como están instalados originalmente y someter a los otros a ajustarse con los primeros.

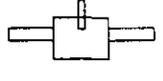
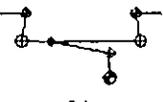
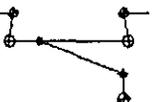
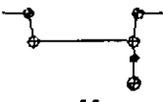
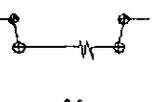
Modificaciones a la configuración original.- Se refiere a emplear los órganos originales y modificarlos para ajustar entre ellos. Este concepto es consecuencia del primer concepto.

Reemplazo comercial.- Buscar partes comerciales que operaran en condiciones similares y fueran compatibles con el CHASIS RAM 3500.

Modificar reemplazo comercial.- Buscar partes comerciales que operaran en condiciones similares y adaptarias para trabajar con el CHASIS RAM 3500.

Diseño y construcción original.- Diseñar y construir completamente cada órgano.

**Tabla 4  
CARTA MORFOLÓGICA  
TRANSMITIR(1.0)-MULTIPLICAR(2.0)-DIRIGIR(3.0)**

	CONFIGURACIÓN ORIGINAL	MODIFICAR CONFIGURACIÓN ORIGINAL	REEMPLAZO COMERCIAL ECUVALENTE	MODIFICAR REEMPLAZO COMERCIAL ECUVALENTE	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN ESPECIAL
TRANSMITIR 1.0	 1.1	 1.2	 1.3	 1.4	 1.5
MULTIPLICAR 2.0	 2.1	 2.2	 2.3	 2.4	 2.5
DIRIGIR 3.0	 3.1	 3.2	 3.3	 3.4	 3.5

Se agruparon las opciones en una carta morfológica (tabla 4) y se definieron los siguientes parámetros de evaluación<sup>4</sup>:

<sup>3</sup> Los conceptos de solución están basados en las características del problema y la experiencia de los responsables.

<sup>4</sup> Estos parámetros aplican para la construcción del prototipo del VEP, bajo las condiciones establecidas en las secciones I.1 y I.4.

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN  
PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS**

**III. CONCEPTOS DEL DISEÑO**

- **Compatibilidad:** Dado un concepto para "DIRIGIR", se evalúa si los conceptos para "TRANSMITIR" y para "MULTIPLICAR" son congruentes con el primero. (Mayor compatibilidad = bueno)
- **Factibilidad:** Evalúa la posibilidad de realización de cada concepto de forma aislada.  
(Mayor factibilidad. = bueno)
- **Costo:** Considera costo de materiales, proceso de construcción y mano de obra en forma cualitativa según la experiencia del diseñador. (Menor costo=bueno)
- **Tiempo:** Estima el tiempo necesario para diseñar, construir y probar cada concepto.  
(Menor tiempo = bueno)

Después de obtener el peso de los parámetros de evaluación<sup>5</sup> (tabla 5), se elaboró una matriz de decisión para determinar el concepto de solución más adecuado (tabla 6).

**Tabla 5  
PESO DE PARÁMETROS DE EVALUACIÓN**

PARAMETROS	A		B		C		TOTALES	PESO (%)
A) COMPATIBILIDAD	0	1	0				1	16.67
B) FACTIBILIDAD	1			1	1		3	50.00
C) COSTO		0		0		1	1	16.67
D) TIEMPO			1		0	0	1	16.67
<b>TOTAL</b>							<b>6</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 6  
MATRIZ DE DECISIÓN  
TRANSMITIR(1.0)-MULTIPLICAR(2.0)-DIRIGIR(3.0)**

OPCIÓN(ID)	PARAMETROS (VALOR/VALOR PONDERADO)								TOTALES				
	A		B		C		D		PARCIAL	PONDERADO %	PARCIAL %	PONDERAD %	
1.1	1	16.6	1	16.6	3	49.7	3	49.7	8	132.6	18.2	18.2	
1.2	2	33.1	3	49.7	2	33.1	3	49.7	10	165.7	22.7	22.7	
1.3	1	16.6	2	33.1	2	33.1	3	49.7	8	132.6	18.2	18.2	
1.4	3	49.7	2	33.1	2	33.1	2	33.1	9	149.1	20.5	20.5	
1.5	3	49.7	3	49.7	2	33.1	1	16.6	9	149.1	20.5	20.5	
									<b>TOTALES</b>	<b>44</b>	<b>729.1</b>	<b>100</b>	<b>100.0</b>
2.1	1	16.6	1	16.6	3	49.7	3	49.7	8	132.6	21.6	21.6	
2.2	2	33.1	2	33.1	3	49.7	2	33.1	9	149.1	24.3	24.3	
2.3	1	16.6	1	16.6	1	16.6	3	49.7	6	99.4	16.2	16.2	
2.4	2	33.1	2	33.1	1	16.6	2	33.1	7	116.0	18.9	18.9	
2.5	3	49.7	2	33.1	1	16.6	1	16.6	7	116.0	18.9	18.9	
									<b>TOTALES</b>	<b>37</b>	<b>613.1</b>	<b>100</b>	<b>100.0</b>
3.1	1	16.6	3	49.7	3	49.7	3	49.7	10	165.7	26.3	26.3	
3.2	2	33.1	3	49.7	2	33.1	2	33.1	9	149.1	23.7	23.7	
3.3	1	16.6	1	16.6	1	16.6	3	49.7	6	99.4	15.8	15.8	
3.4	2	33.1	1	16.6	1	16.6	2	33.1	6	99.4	15.8	15.8	
3.5	3	49.7	2	33.1	1	16.6	1	16.6	7	116.0	18.4	18.4	
									<b>TOTALES</b>	<b>38</b>	<b>629.7</b>	<b>100</b>	<b>100.0</b>

Escala de evaluación      1= malo    2 = aceptable    3 = bueno

El resultado de la matriz de decisión sugirió el siguiente concepto:

*Modificar la caja y la columna de la dirección y emplear la configuración original del varillaje del chasis Ram 3500.*

<sup>5</sup> De acuerdo con el procedimiento que se menciona en la sección 1.4

III.5 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Después de determinar el concepto de solución, se propuso un conjunto de soluciones específicas para resolver el problema. Con base en estudio que se presenta en la sección II.2 puede observarse que el brazo pitman ocupa una posición fija en el mecanismo de acoplamiento y solamente gira sobre el eje sector sin importar (en términos del varillaje) cómo se transmita el movimiento a su eje de giro.

Se estudiaron opciones que, de acuerdo con el resultado de la sección III.2, se basaban en colocar la columna de la dirección en una posición y orientación determinada y emplear elementos de transmisión para llevar el movimiento ya fuera a la caja de la dirección, a una flecha colocada en la posición original del eje sector o bien, a una combinación de ambas. Así, se podía emplear el varillaje original. Las opciones más relevantes se presentaron en una carta morfológica (tabla 7) y se evaluaron (tabla 8) según los parámetros establecidos en la sección I.4.

Tabla 7  
CARTA MORFOLÓGICA  
MULTIPLICAR (2.2)-TRANSMITIR(1.2)

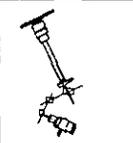
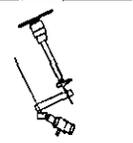
			
2.2.1 engranes + junta universal	2.2.2 cadenas + junta universal	2.2.3 desplazar caja sobre eje sector + junta universal	2.2.4 desplazar caja paralela a eje sector + junta universal

Tabla 8  
MATRIZ DE DECISIÓN  
MULTIPLICAR (2.2)-TRANSMITIR(1.2)

OPCIÓN (ID)	PARÁMETROS (VALOR/VALOR PONDERADO)																TOTALES					
	A		B		C		D		E		F		G		H		I		PAR CIA L	POND ERAD O	% PARCIAL	% POND ERAD O
2.2.1	1	21.6	1	13.5	0	0.0	0	0.0	2.0	32.4	1.0	5.4	2.0	37.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	110.7	17.5	22.7
2.2.2	1	21.6	0	0.0	1	2.7	1	5.4	1.0	16.2	1.0	5.4	1.0	18.9	1.0	2.7	1.0	13.5	8.0	86.4	20.0	17.7
2.2.3	2	43.2	2	27.0	2	5.4	1	5.4	2.0	32.4	2.0	10.8	2.0	37.8	2.0	5.4	1.0	13.5	16.0	180.9	40.0	37.0
2.2.4	2	43.2	0	0.0	0	0.0	1	5.4	1.0	16.2	2.0	10.8	1.0	18.9	1.0	2.7	1.0	13.5	9.0	110.7	22.5	22.7
TOTALES																40.0	488.7	100	100.0			

El resultado final sugirió *desplazar la caja sobre el eje sector, modificar la columna de la dirección y buscar el acoplamiento entre caja y columna empleando juntas universales.*

IV. DETALLES DEL DISEÑO

IV.1 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La solución que se propone consiste en ajustar los extremos de la columna y de la caja de la dirección, considerando que sus ejes presentan desalineamiento paralelo y desalineamiento angular. El acoplamiento entre estas dos flechas se resuelve con juntas universales (ilustración 12).

El procedimiento que se sugiere es ubicar el volante en la posición deseada (pv) y orientar la columna de la dirección en un ángulo (ACH) apropiado. Posteriormente, desplazar la caja de la dirección una distancia D sobre el eje sector, es decir, extender el eje sector, en función de la cual se determine la longitud de la columna (Lc) y la rotación (RC) de la caja de la dirección sobre el eje sector para acoplar el eje de la dirección con el eje

de la columna empleando la junta universal de longitud (Lac).

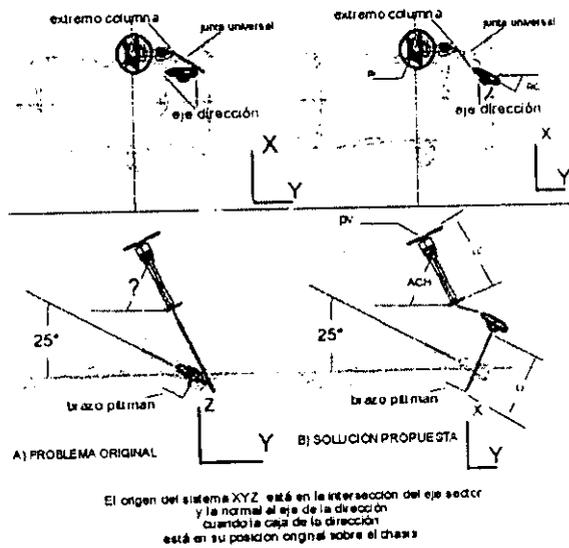


Ilustración 12

IV.2 CONFIGURACIÓN

En la ilustración 13 se muestra la configuración de los elementos principales del sistema. Como el brazo pitman no cambia de posición, el varillaje se mantiene intacto, por esta razón no se presentan referencias adicionales.

Este sistema cuenta con una estructura independiente para mantener la alineación de sus componentes, transferir las cargas al chasis a través de un solo elemento para facilitar el ensamble. Al ensamblar sobre la estructura la extensión del eje sector con la caja, ésta última se defasa un ángulo RC (ilustración 12) con respecto a su posición original y se alinea correctamente con el eje sector manteniendo permanentemente la posición establecida para el acoplamiento con la columna.

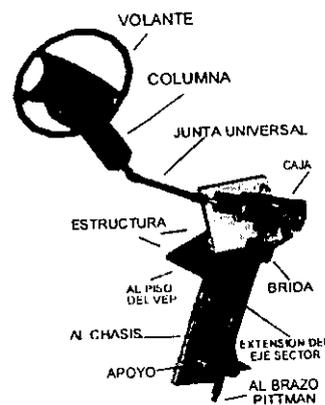


Ilustración 13

La estructura se ensambla con tornillos sobre los barrenos que estaban destinados originalmente para la caja de la dirección sobre el chasis, y sobre el piso de la carrocería. Éstos últimos tienen holgura para absorber las posibles deformaciones de la carrocería durante su uso. La caja de la dirección se ensambla con tornillos sobre el extremo superior de la estructura. La caja no sufre modificaciones adicionales.

IV. DETALLES DEL DISEÑO

En la sección 5.2 se muestra que existen cargas radiales y axiales que actúan sobre la extensión del eje sector. Los apoyos ubicados uno en la caja de la dirección y otro en el extremo inferior de la estructura soportan las cargas radiales. Sin embargo es necesario que el apoyo inferior soporte cargas axiales en ambos sentidos para evitar que éstas cargas se transmitan hasta la caja.

El eje sector y su extensión se acoplan rígidamente con una brida que transmite el movimiento, asegura la alineación de ambos y permite el empleo de dos apoyos exclusivamente. La mitad superior de la brida ensambla en el estriado del eje sector de la caja y se asegura axialmente con una tuerca para evitar holguras o juegos. Se ha tenido especial cuidado en la extensión del eje sector y de la brida, pues trabajan en el lado de alto par y están sujetos a grandes esfuerzos, por esta razón, estas piezas son robustas.

El principio de esta solución se encuentra en la flexibilidad que presentan las juntas universales para trabajar con desalineamiento angular y desalineamiento paralelo. En este caso se emplea una doble junta de uso automotriz, de cambio rápido para facilitar el ensamble y mantener la precisión del movimiento. Como la junta trabaja en el lado de bajo par, es ligera y confiable.

El volante y la columna se han dispuesto bajo las consideraciones establecidas en las especificaciones, las modificaciones que se han previsto, como cambio de longitud y de orientación, no alteran su función. Como su instalación está fuera de los objetivos de este trabajo, no se presentan más detalles.

IV.3 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

Con base en los estudios que se presentan en la sección 5.1 se obtuvieron algunos factores que definen las características de los elementos principales que se describen a continuación:

Parámetros para acoplamiento:

$D=20$  pulg.;

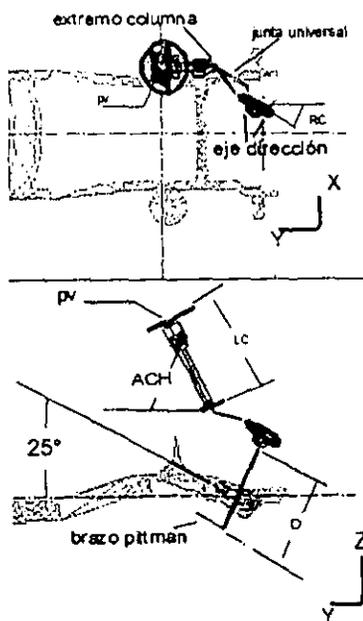
$L_c = 21.125$  pulg

$ACH=60^\circ$ ;

$p_{v'} = ( 8.15, 15.84, 45.69 )$  pulg <sup>1</sup>

$RC = 30^\circ$ ;

$L_{ac} = 10.74$  (pulg)



El origen del sistema XYZ, está en la intersección del eje sector y la normal al eje de la dirección cuando la caja de la dirección está en su posición original sobre el chasis.

Ilustración 14

<sup>1</sup>  $p_{v'}$  son las coordenadas de la posición ajustada del volante

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS

## IV. DETALLES DEL DISEÑO

Rodamiento del apoyo inferior

Carga axial  $F_a = 1110.5 \text{ lb}$

Farga radial  $F_r = 4791.5 \text{ lb}$

Factor de seguridad estático  $S_0 = 1$

$$C_o = (S_o)(F_r + xF_a) = (1)(4791.5 + 0.58 \times 1110.5)$$

$$C_o = 5435.6 \text{ lb} = 25915 \text{ N}$$

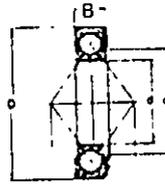
Tipo: Bolas de cuatro puntos de contacto

Dimensiones:  $d \times D \times B = 35 \times 80 \times 21 \text{ (mm)}$

Serie: QJ 307

Marca sugerida: SKF

SKF Rodamientos de bolas de cuatro puntos de contacto d 17-85 mm



Dimensiones principales		Capacidad de carga (dinám)		Carga límite de fatiga	Velocidad nominal	Masa	Grupo
d	D	C	$C_0$	P	r/min	kg	
35	77	11	41 200	26 000	1 630	1 500	0.21
	80	21	58 200	46 500	1 960	2 000	0.57

Ilustración 15

Junta universal

Dos unta universales de uso automotriz opuestas.

Desalineación admitida =  $25^\circ$  por extremo.

Torque aplicado =  $1600 \text{ lb pulg}$

Máx. torque admitido =  $7920 \text{ lb pulg}$

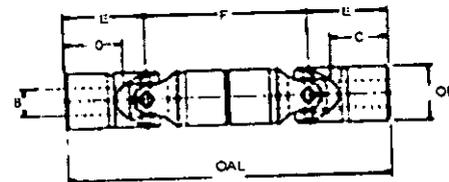
Longitud promedio =  $10.75 \text{ pulg}$

Núcleo: redondo  $0.75 \text{ pulg}$ . Con opresor

Tipo: flecha deslizante de cambio rápido

Marca sugerida: Lovejoy

\*Nota: Puede emplearse la junta universal original y adaptarse según estas especificaciones.



CONNECT ASSEMBLY

Yoke ends are aligned and yokes are equal

Body			f		Yoke Depth		Spline Breaking Torque	OD Weight Solid
Std. In	Max. In	mm	Max.	Min.	C	E		
1.75	1.12	29	11.25	10.00	1.50	1.55	7920	805

Ilustración 16

Columna y volante de la dirección

Longitud =  $21.125 \text{ pulg}$ . Medidas entre el centro de giro y el extremo de la flecha.

Soportes: Dos al tablero

Ángulo de inclinación =  $60^\circ$  con respecto a la horizontal

Tipo: Correspondiente a la columna de un vehículo tipo Neon modelo 2000 marca Chrysler.

\*Nota: puede emplearse la columna de dirección original (Anexo 3) y modificarse de acuerdo con estas especificaciones.

Volante: correspondiente a la columna



Ilustración 17

Caja de la dirección:

Tipo: Dirección hidráulica integral de bolas recirculantes.

Desmultiplicación: 20:1

Modelo: Correspondiente al Chasis Ram-3500 (Anexo 3)

\*Nota: Debe desensamblarse el brazo pittman y colocarse en el extremo inferior de la extensión del eje sector.

Extensión del eje sector

Diseño y configuración especial. Ver detalles en Anexo 4

Material: Acero 4140

Max. torque admitido:  $T=15313$  lb pulg

Factor de seguridad  $F_s=2$

Estructura

Diseño y configuración especial. Ver detalles en Anexo 4.

Material: Acero 1020

Incluye alojamiento para rodamiento del apoyo inferior.

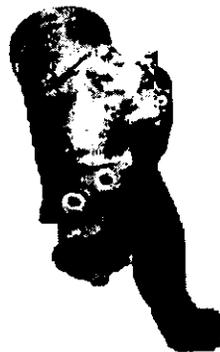


Ilustración 18



Ilustración 19

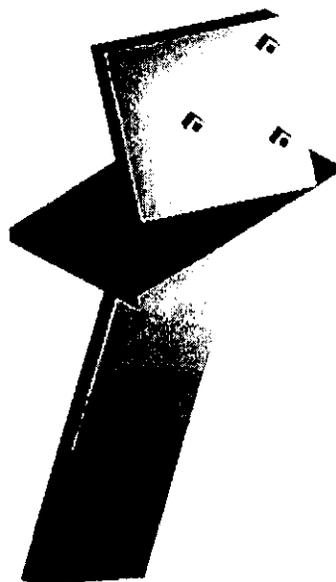


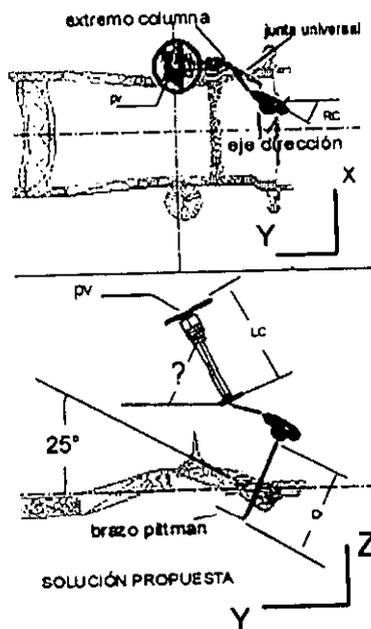
Ilustración 20

V.1 CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA EL ACOPLAMIENTO

Para detallar completamente el ensamble adecuado, es necesario conocer la posición del volante con respecto a la posición original del brazo pittman (pv), la longitud de la columna (LC) y el ángulo que ésta forma con la horizontal (AVH), el desplazamiento (D) de la caja sobre el eje sector, la rotación de ésta sobre el eje sector (RC), y la longitud de la junta universal (Lac) (ilustración 21).

En el Anexo 2 se especifica la posición sugerida para el volante referida a la base del amortiguador izquierdo y al nivel del piso del vehículo.

Para facilitar el proceso de cálculo, se transformaron las medidas proporcionados en la referencia mencionada a un sistema de coordenadas  $oXYZ$  ubicado en la posición original de la caja de la dirección. El eje X es paralelo al eje delantero del vehículo. El eje Y es paralelo al eje longitudinal del vehículo. El eje Z es normal a ambos. En este sistema, la posición del volante es:  $Pv=(11, 9.625, 41.125)$  [pulg].



El origen del sistema XYZ está en la intersección del eje sector y la normal al eje de la dirección cuando la caja de la dirección está en su posición original sobre el chasis.

Ilustración 21

Los ejes que se deben acoplar se están representados por los vectores  $(P1'-P1)$  y  $(P2'-P2)$ . C es un punto cualquiera ubicado sobre la extensión del eje sector, a una distancia D desde o. Así, el sistema  $CXYZ$  se desplaza sobre el eje sector. El sistema  $CXYZ$  gira con respecto al eje sector, manteniendo colineales los ejes  $OC$  y  $Z$ . Transformando las coordenadas de los sistemas  $CXYZ$  y  $CXYZ$  con respecto al sistema fijo  $oXYZ$  pueden ubicarse las coordenadas de cualquier punto con respecto al origen o (ilustración 22).

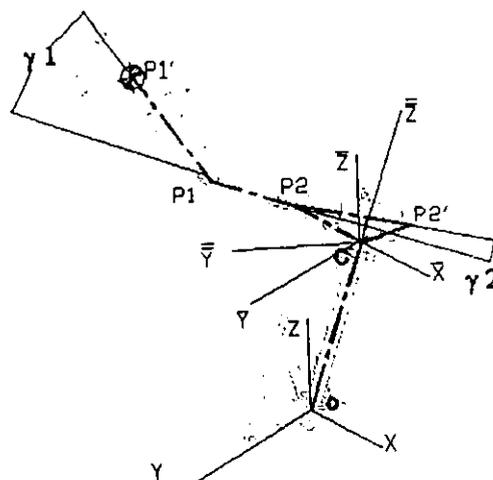


Ilustración 22

V.1.1 PLANTEAMIENTO

La forma más conveniente de emplear una junta universal para acoplar dos flechas con desalineamiento paralelo y desalineamiento angular es logrando que la junta trabaje con el mismo ángulo de desalineación en cada uno de sus extremos. Esto es que el ángulo  $\gamma$  (ilustración 22) que forma la junta universal con cada una de las flechas sea el mismo. Para una junta de dirección automotriz, el máximo ángulo permitido es  $\gamma_a = 25^\circ$ . Con el siguiente procedimiento se encuentran las posiciones y dimensiones de las flechas que satisfacen dicha condición.

$$\gamma_1 = \gamma_2 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\cos \gamma_1 = \cos \gamma_2 \quad \text{Ec. 2}$$

$$\cos \gamma_1 = \frac{\mathbf{V}_1 \cdot \mathbf{V}_{21}}{|\mathbf{V}_1| |\mathbf{V}_{21}|} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\cos \gamma_2 = \frac{\mathbf{V}_2 \cdot \mathbf{V}_{21}}{|\mathbf{V}_2| |\mathbf{V}_{21}|} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_a \leq 25 \text{ condición de la junta universal}$$

$$\mathbf{V}_1 = P1 - P1' = (x_1 - x_1', y_1 - y_1', z_1 - z_1')$$

$$\mathbf{V}_2 = P2 - P2' = (x_2 - x_2', y_2 - y_2', z_2 - z_2')$$

$$\mathbf{V}_{21} = P2 - P1 = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1)$$

Desarrollando las ecuaciones 3 y 4:

$$\frac{\overline{\mathbf{V}_1} \cdot \overline{\mathbf{V}_{21}}}{|\overline{\mathbf{V}_1}| |\overline{\mathbf{V}_{21}}|} = \frac{(x_1 - x_1')(x_2 - x_1) + (y_1 - y_1')(y_2 - y_1) + (z_1 - z_1')(z_2 - z_1)}{\sqrt{(x_1 - x_1')^2 + (y_1 - y_1')^2 + (z_1 - z_1')^2} \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \quad \text{Ec. 5}$$

$$\frac{\overline{\mathbf{V}_2} \cdot \overline{\mathbf{V}_{21}}}{|\overline{\mathbf{V}_2}| |\overline{\mathbf{V}_{21}}|} = \frac{(x_2 - x_1')(x_2 - x_1) + (y_2 - y_2')(y_2 - y_1) + (z_2 - z_2')(z_2 - z_1)}{\sqrt{(x_2 - x_2')^2 + (y_2 - y_2')^2 + (z_2 - z_2')^2} \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}} \quad \text{Ec. 6}$$

DATOS:

Longitud de la columna (Lc):

$$|\overline{\mathbf{V}_1}| = \sqrt{(x_1 - x_1')^2 + (y_1 - y_1')^2 + (z_1 - z_1')^2}$$

Longitud del eje de la caja:

$$|\overline{\mathbf{V}_2}| = \sqrt{(x_2 - x_2')^2 + (y_2 - y_2')^2 + (z_2 - z_2')^2}$$

Posición inicial del volante:

$$P1' = (x_1', y_1', z_1')$$

Ángulo que forma el eje sector con el eje Z:

$$\delta_2 = 25^\circ \dots \text{condición constante}$$

Origen del sistema fijo de coordenadas:

$$o = (0,0,0)$$

DETERMINAR:

Vector que representa al eje de la caja:

$$\mathbf{V}_2 = P2 - P2'$$

Vector que representan a la junta universal:

$$\mathbf{V}_{21} = P2 - P1$$

Vector que representa a la columna

$$\overline{\mathbf{V}_1} = \overline{P_1' - P_1}$$

Punto C

Ángulo de desalineación:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_a$$

V.1.2 DESARROLLO:

PUNTO C:

$$x_c = D \operatorname{sen}(\delta_2) \cos(90^\circ) \dots \quad \text{Ec. 7}$$

$$y_c = D \operatorname{sen}(\delta_2) \operatorname{sen}(90^\circ) \dots \quad \text{Ec. 8}$$

$$z_c = D \cos(\delta_2) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$\delta_2 = 25^\circ$  es el ángulo que forma el eje sector con el eje Z

D es el desplazamiento de la caja de la dirección sobre el eje sector (distancia oc en ilustración 23).

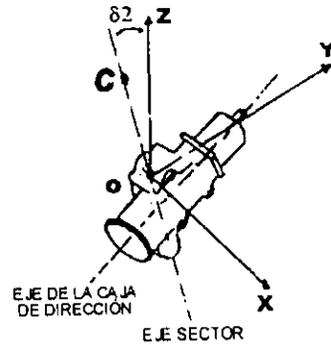


Ilustración 23

PUNTOS  $P_2$  y  $P_2'$ :

Suponiendo que la caja se ha desplazado desde el origen "o" hasta el punto "C" en el sistema

$\overline{CXYZ}$  (ilustración 24):

$$\bar{X}_2 = |\overline{CP_2}| \operatorname{Sen} \phi_2 \operatorname{Cos} \theta_2 \quad \text{Ec. 10}$$

$$Y_2 = |\overline{CP_2}| \operatorname{Sen} \phi_2 \operatorname{Sen} \theta_2 \quad \text{Ec. 11}$$

$$Z_2 = CP_2 \operatorname{Cos} \phi_2 \quad \text{Ec. 12}$$

$$X_2' = |\overline{CP_2'}| \operatorname{Sen} \phi_2' \operatorname{Cos} \theta_2' \quad \text{Ec. 13}$$

$$Y_2' = |\overline{CP_2'}| \operatorname{Sen} \phi_2' \operatorname{Sen} \theta_2' \quad \text{Ec. 14}$$

$$Z_2' = -|\overline{CP_2'}| \operatorname{Cos} \phi_2' \quad \text{Ec. 15}$$

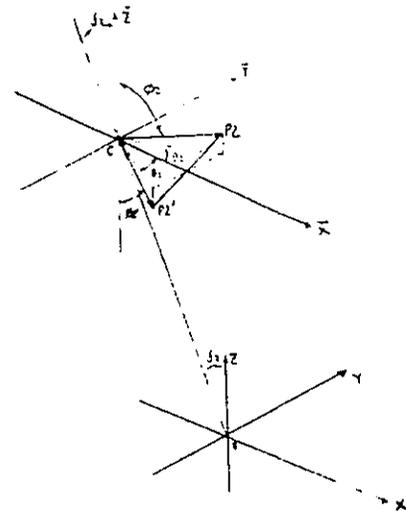


Ilustración 24

Ángulos  $\phi_2$  y  $\theta_2$ :

Los puntos  $P_2$  y  $P_2'$  se encuentran sobre el plano  $\overline{XY}$  (ilustraciones 24 y 25) que está inclinado un ángulo  $\delta_2 = 25^\circ$ , de manera que en este plano se encuentran los vectores  $\overline{V_2}, \overline{CP_2}$  y  $\overline{CP_2'}$ .

El triángulo  $C-P_2-P_2'$  puede medirse físicamente en la caja de la dirección y obtener los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

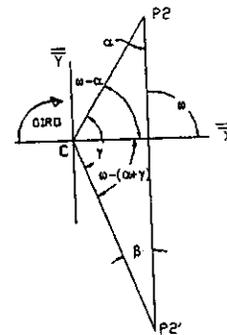


Ilustración 25

$\omega$  es el ángulo que forma el vector  $V_2$  con el eje  $\bar{X}$ .

Este valor puede cambiar al girar la caja de la dirección sobre el eje sector (que contiene al punto C).

Así:

$$\bar{X}_2 = CP_2 \cos(\omega - \alpha) \quad \text{Ec. 16}$$

$$\bar{Y}_2 = CP_2 \sin(\omega - \alpha) \quad \text{Ec. 17}$$

$$\bar{X}_2' = CP_2 \cos[\omega - (\gamma + \alpha)] \quad \text{Ec. 18}$$

$$\bar{Y}_2' = CP_2 \sin[\omega - (\gamma + \alpha)] \quad \text{Ec. 19}$$

$$\bar{Z}_2 = 0 \quad \text{Ec. 20}$$

$$\bar{Z}_2' = 0 \quad \text{Ec. 21}$$

Luego:

$$X = \bar{X} \quad \text{Los ejes son coincidentes} \quad \text{Ec. 22}$$

$$Y = \bar{Y} \cos \delta_2 \quad \text{proyectando } \bar{Y} \text{ sobre } \bar{Y} \quad \text{Ec. 23}$$

Desarrollando Ec. 22 y 23 para el punto P2 respectivamente:

$$|\overline{CP_2}| \text{Sen} \phi_2 \text{Cos} \theta_2 = |\overline{CP_2}| \text{Cos}(\omega - \alpha) \quad \text{Ec. 24}$$

Ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  (ilustración 26)

Si se hace una sección de la caja de la dirección que contenga al eje de la dirección y al punto C. se tiene:

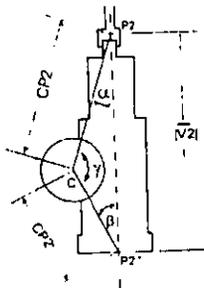


Ilustración 26

$$|\overline{CP_2}| \text{Sen} \phi_2 \text{Sen} \theta_2 = |\overline{CP_2}| \text{Sen}(\omega - \alpha) \text{Cos} \delta_2 \quad \text{Ec. 25}$$

Resolviendo Ec. 24 y 25

$$\theta_2 = \text{Tan}^{-1} [\text{Tan}(\omega - \alpha) \text{Cos} \delta_2] \quad \text{Ec. 26}$$

$$\phi_2 = \text{Sen}^{-1} \left[ \frac{\text{Sen}(\omega - \alpha) \text{Cos} \delta_2}{\text{Sen} \theta_2} \right] \quad \text{Ec. 27}$$

De la misma forma para  $P_2'$  se tiene:

$$\theta_2' = \text{Tan}^{-1} [\text{Tan}(\omega - (\gamma + \alpha)) \text{Cos} \delta_2] \quad \text{Ec. 28}$$

$$\phi_2' = \text{Sen}^{-1} \left[ \frac{\text{Sen}[\omega - (\gamma + \alpha)] \text{Cos} \delta_2}{\text{Sen} \theta_2'} \right] \quad \text{Ec. 29}$$

Finalmente:

Punto  $P_2$

$$X_2 = |\overline{CP_2}| \text{Sen} \phi_2 \text{Cos} \theta_2 + X_c \quad \text{Ec. 30}$$

$$Y_2 = |\overline{CP_2}| \text{Sen} \phi_2 \text{Sen} \theta_2 + Y_c \quad \text{Ec. 31}$$

$$Z_2 = CP_2 \text{Cos} \phi_2 + Z_c \quad \text{Ec. 32}$$

Punto  $P_2'$

$$X_2' = |\overline{CP_2'}| \text{Sen} \phi_2' \text{Cos} \theta_2' + X_c \quad \text{Ec. 33}$$

$$Y_2' = |\overline{CP_2'}| \text{Sen} \phi_2' \text{Sen} \theta_2' + Y_c \quad \text{Ec. 34}$$

$$Z_2' = |\overline{CP_2'}| \text{Cos} \phi_2' + Z_c \quad \text{Ec. 35}$$

Midiendo directamente

$$CP_2' = 5.25 \text{ [pulg]}; \quad |\bar{V}_2| = 13.125 \text{ [pu/g]}$$

$$\beta = 25^\circ$$

Calculando a partir de estos datos:

$$CP_2 = 8.66 \text{ [pulg]}; \quad \alpha = 15^\circ; \quad \gamma = 140^\circ$$

Como  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\delta_2$ ,  $|V_2|$ ,  $|CP_2|$  y  $|CP_2'|$  son constantes físicas, la posición del vector  $V_2$  depende exclusivamente del ángulo  $\omega$  que gira la caja sobre el eje sector y el desplazamiento  $D$  del punto C sobre el mismo eje.

PUNTO 1

A partir del punto  $P_1$  (posición original del volante en ilustración 27) dado como un dato o medición, el ángulo de inclinación de la columna ( $\delta_1$ ) y conociendo la longitud de ésta se tiene:

$$V_1 = |\overline{OP_1} - \overline{OP_1}|; \quad V_1 = \text{Longitud de columna}$$

$$\overline{OP_1} = \overline{OP_1} + \overline{V_1} \quad \text{Ec. 36}$$

$$\overline{V_1} = |\overline{V_1}| (\text{Sen} \delta_1 \text{Cos} \Omega \mathbf{i} - \text{Sen} \delta_1 \text{Sen} \Omega \mathbf{j} - \text{Cos} \delta_1 \mathbf{k}) \quad \text{Ec. 37}$$

$$\overline{V_1} = (X_1 + |V_1| \text{Sen} \delta_1 \text{Cos} \Omega) \mathbf{i} + (Y_1 + |V_1| \text{Sen} \delta_1 \text{Sen} \Omega) \mathbf{j} + (Z_1 + |V_1| \text{Cos} \delta_1) \mathbf{k} \quad \text{Ec. 38}$$

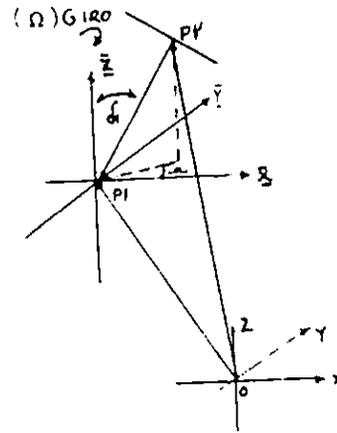


Ilustración 27

Así:

$$X_1 = X_1 - |V_1| \text{Sen} \delta_1 \text{Cos} \Omega \quad \text{Ec. 39}$$

$$Y_1 = Y_1 - |V_1| \text{Sen} \delta_1 \text{Sen} \Omega \quad \text{Ec. 40}$$

$$Z_1 = Z_1 - |V_1| \text{Cos} \delta_1 \quad \text{Ec. 41}$$

Finalmente:

Vector  $\overline{V_{21}}$

$$V_{21} = V_2 - V_1 \quad \text{Ec. 42}$$

$$X_{21} = X_2 - X_1 \quad \text{Ec. 43}$$

$$Y_{21} = Y_2 - Y_1 \quad \text{Ec. 44}$$

$$Z_{21} = Z_2 - Z_1 \quad \text{Ec. 45}$$

$$|\overline{V_{21}}| = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad \text{Ec. 46}$$

V.1.3 RESULTADOS

La solución de las ecuaciones 5 y 6 es función de los siguientes términos:

$\delta_2 = 25^\circ$  Ángulo entre el eje sector y el eje Z del sistema fijo.

D = variable Desplazamiento de la caja sobre el eje sector (pulg).

Geometría interna de la caja de la dirección:

$\alpha = 15^\circ, \gamma = 140^\circ, V_2 = 13.125$  (pulg)

CP2 = 8.66 (pulg); CP2' = 5.25 (pulg)

$V_1$  = (variable) Longitud de la columna (pulg).

$\overline{OPI'}$  =  $x_1, y_1, z_1$  (variable) Posición del volante de la dirección (pulg).

$\omega$  = (variable). Ángulo entre eje de la caja y eje  $\overline{X}$

$\delta_1$  = (variable) Ángulo entre la columna de la dirección y la vertical

$\Omega$  = (variable) Ángulo entre la proyección del vector  $V_1$  y el eje x. Representa el giro del extremo inferior de la columna con respecto al extremo superior.

Para obtener los resultados, se asignan valores por ensayo y error a las variables, se calculan los ángulos  $\gamma_1$  y  $\gamma_2$ , se comparan para verificar que sean iguales, y se comprueba que estén dentro del rango  $\gamma_1 = \gamma_2 < 25^\circ$ . A continuación se enlista la solución obtenida.

La tabla 9 muestra un listado de las iteraciones para calcular las posiciones de las flechas que cumplen con la condición establecida. Puede observarse que la mejor aproximación corresponde a ángulos de desalineamiento cercanos a  $23^\circ$ ,

Tabla 9

PARÁMETROS DEL ACOPLAMIENTO

D= 20.00 Xc= 0.00  
 Yc= -8.45  
 Zc= 18.13  
 Q= 90.00 X1= 8.15  
 Y1= 15.84  
 Z1= 45.69  
 X2= 4.58 X1= 8.15  
 Y2= 13.13 Y1= 5.27  
 Z2= 25.00 Z1= 27.39  
 CP2= 8.66  
 CP2'= 5.25  
 $\gamma = 140.15$   
 $\alpha = 14.85$

$\omega$	$\phi_2$	$\theta_2$	X2	Y2	Z2	$\phi_2'$	$\theta_2'$	X2'	Y2'	Z2'	$\gamma_2$	$\gamma_1$	$\gamma_2/\gamma_1$	V21
90	85.89	73.69	2.22	-0.87	21.66	67.48	-82.77	2.22	-12.76	18.12	39.03	36.63	1.01	10.28
88	66.21	70.98	2.58	-0.98	21.62	67.02	-85.44	2.01	-12.85	16.08	34.95	36.97	0.95	10.16
85	66.58	68.28	2.94	-1.07	21.57	66.60	-68.12	1.80	-12.92	16.04	30.92	35.29	0.88	10.07
83	66.99	65.60	3.29	-1.20	21.51	66.23	-70.82	1.58	-12.99	16.01	27.01	33.63	0.80	10.00
80	67.45	62.93	3.64	-1.33	21.45	65.91	-73.53	1.36	-13.05	15.98	23.30	32.01	0.73	9.97
78	67.95	60.28	3.98	-1.48	21.38	65.63	-76.25	1.14	-13.10	15.96	19.96	30.46	0.66	9.96
75	68.50	57.66	4.31	-1.65	21.30	65.41	-78.99	0.91	-13.14	15.94	17.23	28.00	0.59	9.99
73	69.08	55.05	4.63	-1.83	21.22	65.23	-81.73	0.69	-13.17	15.93	15.43	27.68	0.56	10.04
70	69.71	52.46	4.95	-2.01	21.13	65.10	-84.49	0.46	-13.19	15.92	14.88	26.47	0.56	10.13
68	70.37	49.90	5.25	-2.22	21.03	65.03	-87.24	0.23	-13.21	15.91	15.65	25.43	0.62	10.24
65	71.07	47.38	5.55	-2.43	20.93	65.00	-90.00	0.00	-13.21	15.91	17.53	24.57	0.71	10.38
63	71.80	44.83	5.83	-2.65	20.83	65.03	87.24	-0.23	-13.21	15.91	20.14	23.88	0.84	10.55
60	72.57	42.33	6.10	-2.89	20.72	65.10	84.49	-0.46	-13.19	15.92	23.19	23.36	1.00	10.74
58	73.36	39.86	6.37	-3.14	20.60	65.23	81.73	-0.69	-13.17	15.93	28.46	23.00	1.15	10.95
55	74.19	37.40	6.62	-3.39	20.48	65.41	78.99	-0.91	-13.14	15.94	29.83	22.79	1.31	11.19

V.2 ANÁLISIS ESTÁTICO DE FUERZAS

Considerando una posición en línea recta, en la que las ruedas estén "atascadas" (situación crítica), el conductor impone una fuerza  $F_v$  al volante, que gira en un radio  $r_v$  produciendo un par  $T_v$ . El par  $T_v$  se multiplica en la caja de la dirección según la relación de dirección  $r_c$  (o desmultiplicación), haciendo que el eje sector  $ab$  trabaje con un par  $T$  mayor que  $T_v$  (ilustración 28).

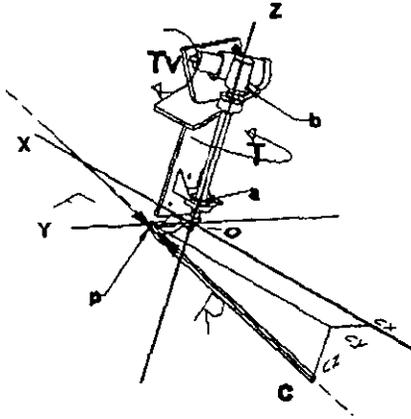


Ilustración 28

El par  $T$  produce una fuerza  $F$  en el extremo  $p$  del brazo pittman ( $op$ ). Como las ruedas no viran, la barra de la dirección ( $cp$ ) opone una reacción  $R$  de igual magnitud y sentido contrario, presentándose así el equilibrio estático. Sin embargo, la barra de la dirección  $cp$  no es perpendicular al brazo pittman  $op$ , en consecuencia, la fuerza  $R$  tiene componentes en los ejes  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  del sistema mostrado, produciendo fuerzas reactivas axiales y radiales en los apoyos  $a$  y  $b$  del eje sector.

Para conocer la magnitud de las cargas axiales y radiales en los apoyos  $a$  y  $b$ , y para determinar el esfuerzo al que se ve sometida la extensión del eje sector  $ab$  se reduce el sistema de fuerzas a una fuerza  $R$  y un par  $Tr$  (ilustración 29) aplicados en el punto  $o$ . Posteriormente se realiza un análisis estático para encontrar las reacciones debidas a la fuerza  $R$ . Finalmente se aplica un análisis de resistencia de la barra por el método de secciones.

Los datos estimados son:

- $|F_v| = 200 \text{ lb}$ ;  $r_v = 8 \text{ pulg}$ ;  $r_c = 20$
- $o = 0,0,0 \text{ (pulg)}$ ;  $p = 0,8,0 \text{ (pulg)}$ ;  $c = -36,4,10 \text{ (pulg)}$
- $a = 0,0,3 \text{ (pulg)}$ ;  $b = 0,0,23 \text{ (pulg)}$

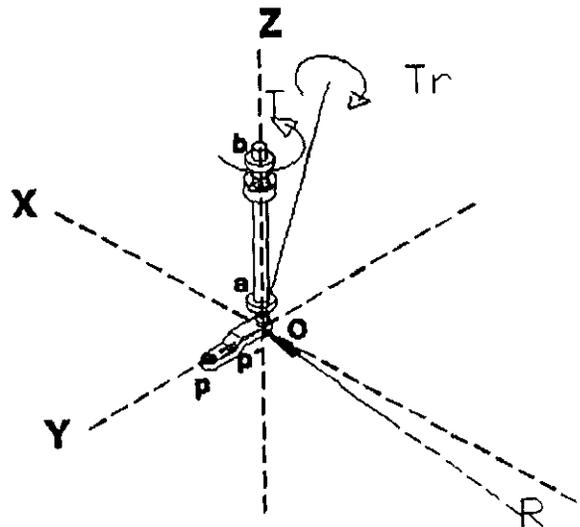


Ilustración 29

Las variables involucradas son:

- $T$  = Vector de Par proporcionado por la caja de la dirección
- $R$  = Vector de Reacción de la barra de la dirección sobre el brazo pittman.
- $Tr$  = Vector Par reaccionante debido a la fuerza  $R$
- $\phi$  = Ángulo entre el vector  $T$  y el vector  $Tr$
- $ab$  = Vector que representa los apoyos del eje sector
- $op'$  = Vector que representa la distancia perpendicular entre la fuerza  $R$  y el eje  $Z$  ( $k$ )
- $op$  = Vector que representa al brazo pittman

V.2.1 REDUCCIÓN DEL SISTEMA DE FUERZAS

Se sabe que:

$$|T_v| = |F_v| |r_v| = 200 \times 8 = 1600 [\text{lbpu}]$$

$$|T| = r_c |T_v| = 20 \times 1600 = 32000 [\text{lbpu}]$$

$$\Rightarrow T = 32000 \mathbf{k} [\text{lbpu}]$$

Luego, en la Ilustración 2:

$$|T| = |T_r| \cos \phi \dots \text{ec1}$$

$$T_r = R \times \text{op}' \dots \text{ec2}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left( \frac{T_r \cdot T}{|T_r| |T|} \right) \dots \text{ec3}$$

De la ilustración 1:

a) Vector  $R$ :

$$R = |R| \frac{\mathbf{cp}}{|\mathbf{cp}|};$$

$$\mathbf{cp} = \mathbf{op} - \mathbf{oc} = (0,8,0) - (-36,4,-10) = (36,4,10)$$

$$|\mathbf{cp}| = \sqrt{36^2 + 4^2 + 10^2} = \sqrt{1412} = 37.577$$

$$R = |R|(0.958\mathbf{i} + 0.106\mathbf{j} + 0.266\mathbf{k}) \dots \text{ec 4}$$

b) Vector  $\text{op}'$

Es el brazo de palanca de la fuerza  $R$  sobre el eje  $\mathbf{ab}$

$$\frac{\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}}{|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}|} = \text{es el vector unitario perpendicular a } R \text{ y } \mathbf{ab}$$

$$\text{op}' \text{ Es la proyección de } \mathbf{op} \text{ sobre } \frac{\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}}{|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}|}$$

$$\text{op}' = \left| \mathbf{op} \cdot \frac{\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}}{|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}|} \right| \left( \frac{\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}}{|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}|} \right)$$

$$\mathbf{ab} = \mathbf{ob} - \mathbf{oa} = (0,0,23) - (0,0,3) = (0,0,20)$$

$$\mathbf{cp} \times \mathbf{ab} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 36 & 4 & 10 \\ 0 & 0 & 20 \end{vmatrix} = 80\mathbf{i} - 720\mathbf{j}$$

$$|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}| = \sqrt{80^2 + 720^2} = \sqrt{524800} = 724.431$$

$$\frac{\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}}{|\mathbf{cp} \times \mathbf{ab}|} = 0.110\mathbf{i} - 0.994\mathbf{j}$$

$$\text{op}' = |(0,8,0) \cdot (0.110, -0.994, 0)| (0.110\mathbf{i} - 0.994\mathbf{j})$$

$$\Rightarrow \text{op}' = 7.951(0.110\mathbf{i} - 0.994\mathbf{j})$$

Luego en ec 2

$$T_r = R \times \text{op}' = |R|(7.951) \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 0.958 & 0.106 & 0.266 \\ 0.110 & -0.994 & 0 \end{vmatrix}$$

$$T_r = |R|(7.951)(0.264\mathbf{i} + 0.029\mathbf{j} - 0.964\mathbf{k}) \dots \text{ec 2'}$$

$$\text{con: } |T_r| = |R|(7.951)$$

c) Angulo  $\phi$

$$\text{Con } \frac{T_r}{|T_r|} \text{ y } \frac{T}{|T|} \text{ en ec. 3:}$$

$$\cos \phi = \left( \frac{T_r}{|T_r|} \cdot \frac{T}{|T|} \right) = [(0.264, 0.029, -0.964) \cdot (0, 0, 1)]$$

$$\cos \phi = -0.964; \quad 0 < \phi < 90$$

$$\Rightarrow \phi = 15.440^\circ$$

sustituyendo  $|T|$ ,  $|T_r|$  y  $\phi$  en ec 1

$$32000 = |R|(7.951)(0.964)$$

$$\Rightarrow |R| = \frac{32000}{(7.951)(0.964)} = 4174.949$$

Luego  $|R|$  en ec 4

$$\Rightarrow R = 4174.949(0.958\mathbf{i} + 0.106\mathbf{j} + 0.266\mathbf{k})$$

Ahora  $|R|$  en ec 2'

$$T_r = (4174.949)(7.951)(0.264\mathbf{i} + 0.029\mathbf{j} - 0.964\mathbf{k})$$

$$\Rightarrow T_r = 33195.020(0.264\mathbf{i} + 0.029\mathbf{j} - 0.964\mathbf{k})$$

Finalmente se obtiene:

$$R = 4174.949(0.958\mathbf{i} + 0.106\mathbf{j} + 0.266\mathbf{k})$$

$$T_r = 33195.020(0.264\mathbf{i} + 0.029\mathbf{j} - 0.964\mathbf{k})$$

que representan un sistema par y fuerza aplicado en el punto  $\mathbf{o}$ , como se muestra en la ilustración 29.

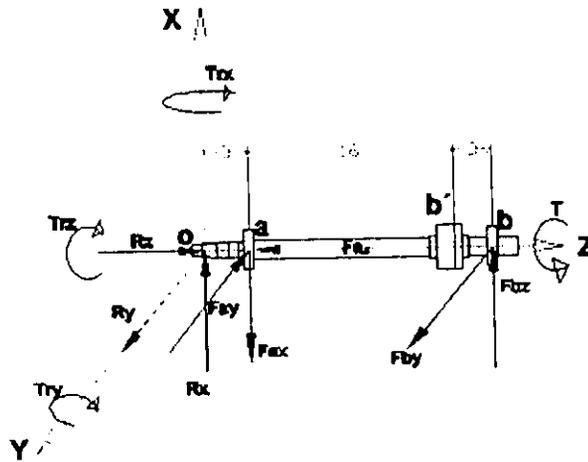
V.2.2 CÁLCULO DE REACCIONES

Se ha descompuesto el sistema par y fuerza en sus proyecciones ortogonales sobre el sistema XYZ mostrado en la ilustración 30. Con base en este sistema se realiza el cálculo de las reacciones en cada eje y finalmente se obtienen las cargas radiales y axiales en los apoyos a y b.

$$Tr_x = \left( Tr \cdot \frac{i}{|i|} \right) i = 8763.485i$$

$$Tr_y = \left( Tr \cdot \frac{j}{|j|} \right) j = 11.51.409j$$

$$Tr_z = \left( Tr \cdot \frac{k}{|k|} \right) k = 32000k$$



$$R_x = \left( R \cdot \frac{i}{|i|} \right) i = 3999.601i$$

$$R_y = \left( R \cdot \frac{j}{|j|} \right) j = 442.227j$$

$$R_z = \left( R \cdot \frac{k}{|k|} \right) k = 1110.536k$$

Ilustración 30

a) Eje X

$$\sum F_x = 0$$

$$R_x - Fax + Fbx = 0$$

$$Fbx = Fax - Rx$$

$$Fbx = 4691.717 - 3999.601$$

$$Fbx = 692.116 [Lb]$$

$$\sum Mo = 0$$

$$Tr_y + 3Fax - 22Fbx = 0$$

$$1151.409 + 3Fax - 22(Fax - 3999.601) = 0$$

$$1151.409 + 3Fax - 22Fax + 87991.222 = 0$$

$$-19Fax = -89142.631$$

$$Fax = 4691.717 [Lb]$$

b) Eje Y

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y - Fay + Fby = 0$$

$$Fby = Fay - Ry$$

$$Fby = Fay - 442.227$$

$$Fby = 946.735 - 442.227$$

$$Fby = 531.061 [Lb]$$

$$\sum Mo = 0$$

$$Tr_x + 3Fay - 22Fby = 0;$$

$$8763.485 + 3Fay - 22(Fay - 442.227) = 0$$

$$8763.485 + 3Fay - 22Fay + 9728.994 = 0$$

$$-19Fay + 18492.479 = 0$$

$$Fay = 973.288 [Lb]$$

c) Eje Z

$$\sum F_z = 0$$

$$R_z - Faz = 0$$

$$Faz = Rz$$

$$Faz = 1110.536 [Lb]$$

$$\sum Mz = 0$$

$$Tr_z - T = 0$$

$$T = Tr_z = 32000 [lbpu/g]$$

$$\text{Carga radial en a; } Far = \sqrt{Fax^2 + Fay^2} = \sqrt{4691.717^2 + 973.228^2} = 4791.595 Lb$$

$$\text{Carga axial en a; } Faa = 1110.536 Lb$$

Finalmente, se tiene:

$$\text{Carga radial en b; } Fbr = \sqrt{Fbx^2 + Fby^2} = \sqrt{692.116^2 + 531.016^2} = 872.355 Lb$$

$$\text{Carga axial en b; } Fba = \text{No esta sujeta a carga axial.}$$

V.2.3 CÁLCULO DE ESFUERZOS EN LA BARRA

Con base en la ilustración 31, se desarrolla el cálculo de esfuerzos en la barra de extensión del eje sector, considerando tres puntos importantes: los apoyos a,b y el punto b', que corresponde a la región donde se ubica la brida de acoplamiento.

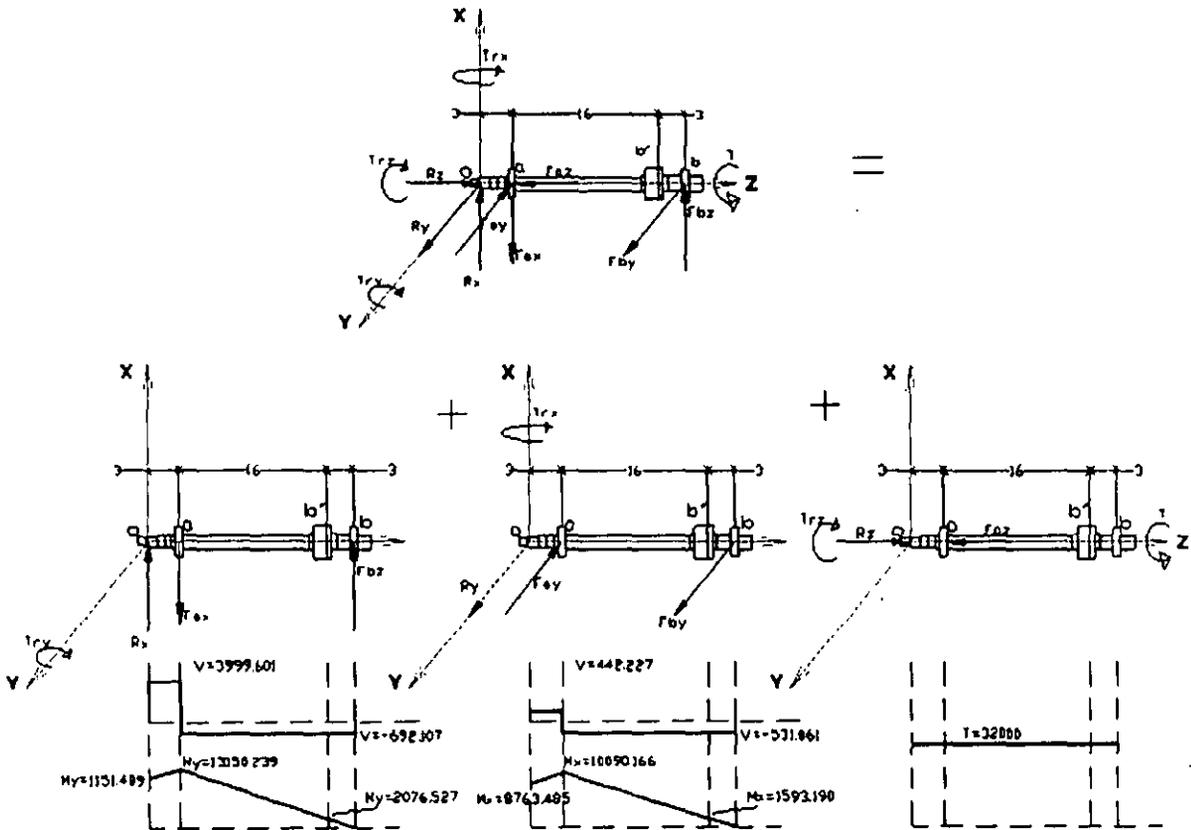


Ilustración 31

0(X<3  
 $V - R_x = 0; V = R_x$   
 $\Rightarrow V = 3999.601$   
 $M - Tr_y - R_x(x) = 0$   
 $M = Tr_y + R_x(x)$   
 $\Rightarrow M = 3999.61x + 1151.409$   
 3(X<23  
 $R_x - Fax - V = 0;$   
 $V = R_x - Fax$   
 $\Rightarrow V = -692.107$   
 $M - Tr_y - R_x(x) + Fax(x - 3) = 0$   
 $M = (R_x - Fax)x + Tr_y + 3Fax$   
 $\Rightarrow M = -692.107x + 15226.560$

0(X<3  
 $R_y - y = 0; V = R_y$   
 $\Rightarrow V = 442.227$   
 $M - Tr_x - R_yx = 0$   
 $M = Tr_x + R_y(x)$   
 $\Rightarrow M = 442.227x + 8763.485$   
 3(X<22  
 $R_y - Fay - V = 0 \quad V = R_y - Fay$   
 $\Rightarrow V = -504.508$   
 $M - Tr_x - R_yx + Fay(x - 3) = 0$   
 $M = x(R_y - Fay) + 3Fay + Tr_x$   
 $\Rightarrow M = -531.061x + 11683.349$

T es constante en toda la barra y se desprecia el efecto de Fz.

Considerando acero 4140 N,  $r = 60\text{KSi}$

$$r = \frac{C}{J} \sqrt{My^2 + Mz^2 + T^2}$$

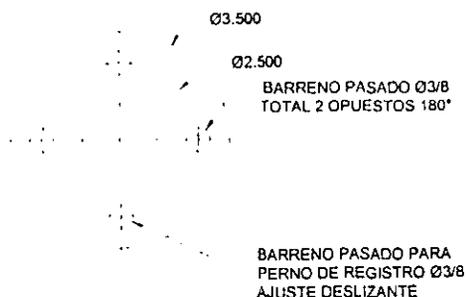
$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{My^2 - Mz^2 + T^2}}{r} = \frac{\pi}{2} C^3$$

$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{10090.166^2 + 13150.239^2 + 32000^2}}{60000}$$

$$\frac{\pi}{2} C^3 = 0.600; C = 0.726$$

$$\Rightarrow D = 2C = 1.45''$$

Esto significa que una barra de acero 4140, de sección redonda ( $J=(\pi/2)C^4$ ) con diámetro  $D=1.45"$  en la sección a puede soportar el esfuerzo debido a una fuerza  $F_v=200$  lb aplicada en el volante de la dirección. Como el efecto de los momentos flectores disminuye considerablemente en la región próxima al extremo b, es suficiente con considerar el esfuerzo cortante debido al par torsionante  $T$  en la región de la brida (punto p') para conocer el estado de esfuerzos en los tornillos de acoplamiento. La brida emplea cuatro tornillos grado 5 ( $\tau = 60$  ksi) con  $D=0.375"$  para transmitir el par  $T$ , distribuidos según la figura 32.



$$T = Fd$$

$$F = \frac{T}{D} = \frac{32000 \text{ lbpu lg}}{1.125 \text{ pu lg}} = 28444.44 \text{ lb}$$

$$A = 4 \frac{\pi D^2}{4} = \pi D^2$$

$$A = \pi (0.375)^2 = 0.442 \text{ pu lg}^2$$

$$= \frac{F}{A} = \frac{28444.444 \text{ lb}}{0.442 \text{ pu lg}^2} = 64385.051 \frac{\text{lb}}{\text{pu lg}^2}$$

### Ilustración 32

Si la resistencia del tornillo es de 60 Ksi, existe la posibilidad de que falle bajo este estado de carga. Puede evitarse la falla aumentando el diámetro del tornillo, o considerar un margen de carga segura.

Como la influencia de los momentos flectores es muy poca (alrededor de 6% en el caso crítico), puede modelarse, para estos fines como un caso simple de torsión y establecer un factor de seguridad aceptable para un estado de carga menor, congruente con las características geométricas de las piezas.

Considerando una barra redonda de acero 4140 N,  
 $\tau = 60$  KSi; con diámetro  $D = 1.125"$  en el extremo "a"  
y un factor de seguridad  $F_s = 2$  se tiene :

$$F_s = \frac{\tau_{4140}}{\tau_{adm}}$$

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_{4140}}{F_s} = \frac{60000}{2} = 30000 \text{ [psi]}$$

Luego :

$$\tau = \frac{C}{J} T$$

$$C = \frac{T}{\tau_{adm}} = \frac{T}{30000} = \frac{\pi}{2} C^3$$

$$\frac{\pi}{2} C^3 = \frac{\pi}{2} \left( \frac{1.375}{2} \right)^3 = 0.510$$

$$\frac{T}{30000} = 0.510$$

$$\Rightarrow T = 15312.963 \text{ [lbpu lg]}$$

y en la brida :

$$T = 15312.963$$

$$= \frac{d}{\pi D^2} = \frac{1.125}{\pi (0.375)^2} = 30810.185 \text{ [psi]}$$

Con el nuevo valor de T :

$$T_v = \frac{T}{20} = \frac{15312.963}{20} = 765.648 \text{ [lbpu lg]}$$

$$F_v = \frac{T_v}{r_v} = \frac{765.648}{8} = 95.710 \text{ [lb]}$$

Concluyendo, bajo las condiciones establecidas en este apartado, puede aplicarse una carga de 95 lb en el volante de la dirección sin riesgo de falla por cortante en la extensión del eje sector.

Respecto a los objetivos del proyecto

La construcción del dispositivo (ilustración 1) es congruente con la configuración (ilustración 2) y con los detalles presentados en este trabajo. Se respetaron las posiciones establecidas, los ángulos de orientación y las dimensiones de las flechas. Existen algunas variantes menores en las características de la estructura, la columna y la junta universal.

En realidad, se ensambló sólo la parte superior de la estructura que va sujeta al piso, y se ensambló el soporte inferior directamente sobre el chasis. Se modificó la junta universal original de acuerdo con las condiciones del acoplamiento y se recortó el volante del chasis RAM 3500 sin mayor problema. Estas modificaciones no alteran el principio de funcionamiento del sistema. El acoplamiento sugerido funciona de manera satisfactoria dentro de las especificaciones establecidas y bajo las condiciones del proyecto.



Ilustración 1

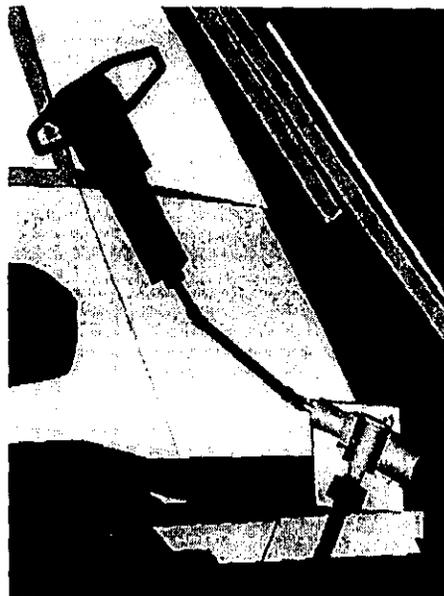


Ilustración 2

Respecto a los objetivos de esta tesis

Se ha procurado mantener un orden lógico en la estructura de este trabajo, manteniendo las observaciones y recomendaciones sugeridas por los profesores e ingenieros en el área de diseño mecánico, mostrando, en resumen, los procedimientos para alcanzar la solución al problema. Se ha puesto especial interés en los conceptos teóricos para el cálculo de posiciones, el análisis estático de fuerzas y el cálculo por resistencia de materiales, pues son éstas las herramientas que brinda la formación académica, por ésta razón no se describen los procedimientos en los que se emplearon herramientas de cómputo como el modelado de sólidos y la programación. Se considera que la información incluida en este trabajo es suficiente para considerarla como un reporte técnico del proyecto.

CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS:

Tipo: RAM 3500

Marca: CHRYSLER

Modelo: 1997

WB (Base de rueda): 163"

GVWR (Peso bruto vehicular) : 11 000 lb

Dimensiones: Ver referencia VEP/E/CH-1

Llantas: 215/85R16

Suspensión delantera: Eje rígido, resortes helicoidales y amortiguadores. Capacidad: 450Lb según referencia VEP/E/CH-2

Suspensión trasera: Muelles y amortiguadores Capacidad: 800Lb según referencia VEP/E/CH2

Tipo de dirección: Sistema de dirección hidráulica integral de bolas recirculantes.

Desmultiplicación de la de la dirección:1:20

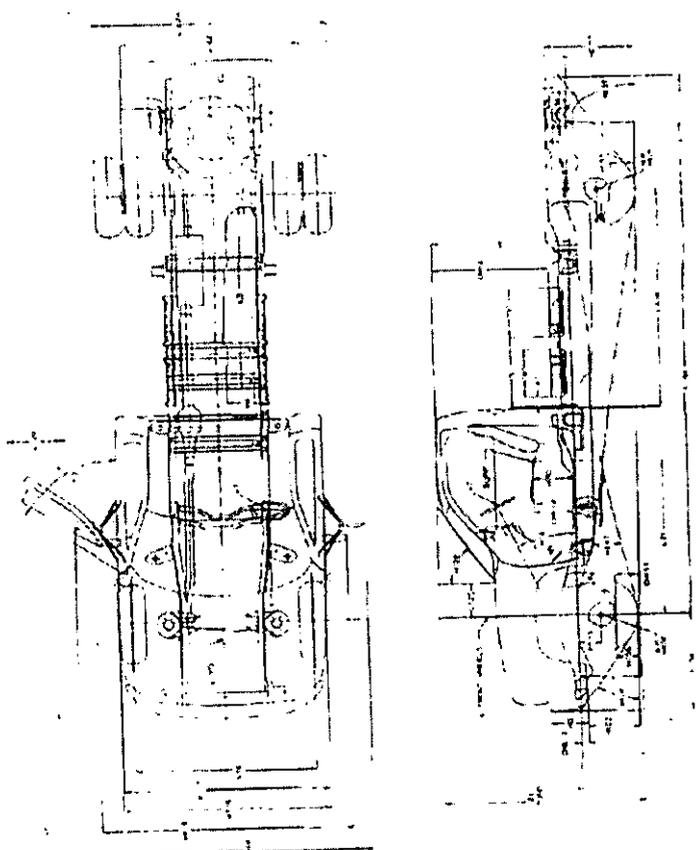
Volante, columna, caja y varillaje de la dirección: Componentes originales completos.

Referencia VEP/E/ED

# Ram 3500 4x2 Chassis Cab 163" WB 11,000 GVWR

RAM 3500 4X2 CAB CHASSIS 163" WB 11,000 GVWR  
 1997 CAB CHASSIS BASE TIRE 215/R15 150MM

EXTERIOR DIMENSIONS		DESCRIPTION
CODE	INCH	MM
L101	162.7	4131.6
L102	244.7	6215.8
L103	37.5	952.1
L104	44.1	1120.2
L105	15.4	391.2
L106	102.7	2613.6
L107	0.0	0.0
L108	82.7	2101.8
L109	77.1	1957.5
L110	39.7	1005.4
L111	0.0	0.0
L112	0.0	0.0
L113	14.3	362.0
L114	14.7	373.9
L115	0.0	0.0
L116	0.0	0.0
L117	0.0	0.0
L118	5.0	127.0
L119	6.7	170.3
L120	24.2	614.7
L121	28.6	727.6
L122	58.0	1471.2
L123	89.6	2279.2
L124	79.2	2016.8
L125	141.5	3593.4
L126	84.9	2156.0
L127	110.9	2817.1
L128	47.3	1201.1
L129	31.7	805.2
L130	24.5	621.8
L131	4.7	119.3
L132	2.9	74.1
L133	15.0	381.3
L134	8.9	225.0
L135	5.5	139.7
L136	18.6	472.4
L137	26.5	673.1
L138	18.6	472.4
L139	43.5	1104.0
L140	18.9	477.6
L141	29.9	759.0
L142	11.3	287.5
L143	29.5	748.5
L144	6.0	152.4
L145	14.4	365.8
L146	52.9	1344.8



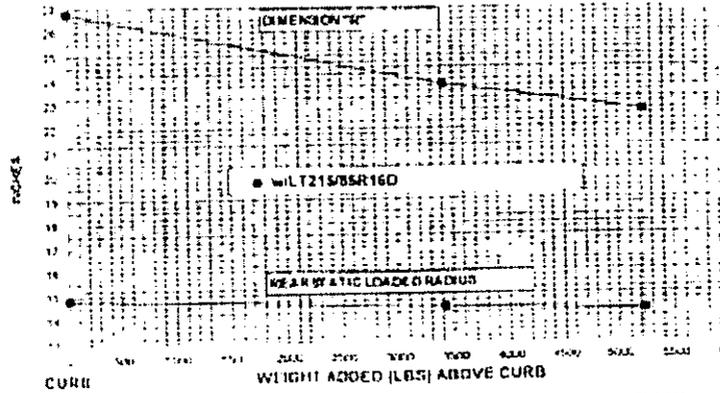
INTERIOR DIMENSION CHART		DESCRIPTION
CODE	INCH	MM
L1	58.7	1492.0
L2	15.4	391.2
L3	18.9	477.6

# REDISEÑO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PASAJEROS

ANEXO 1

MODEL	GVW	WHLBASE	BODY	SUSPENSION		
				TYPE	RATE	CAPACITY @GRD
RAM			CAB	REAR	1300/1900 LB/IN	8000 LB
3500 4X2	11000 LB	162.7 IN	CHASSIS			

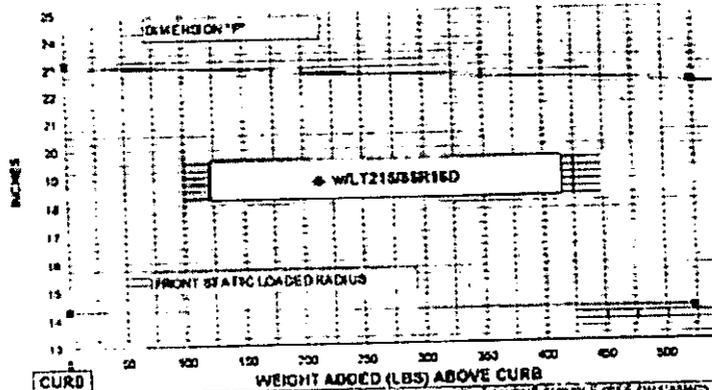
**RAM 3500 4X2 REAR - DIMENSION "R" & STATIC LOADED RADIUS  
vs. WEIGHT ADDED ABOVE CURB**



NOTE: DIMENSION "R" IS THE DISTANCE FROM FRAME "D" TO GROUND @ THE REAR SPACER (SEE DRAWING)

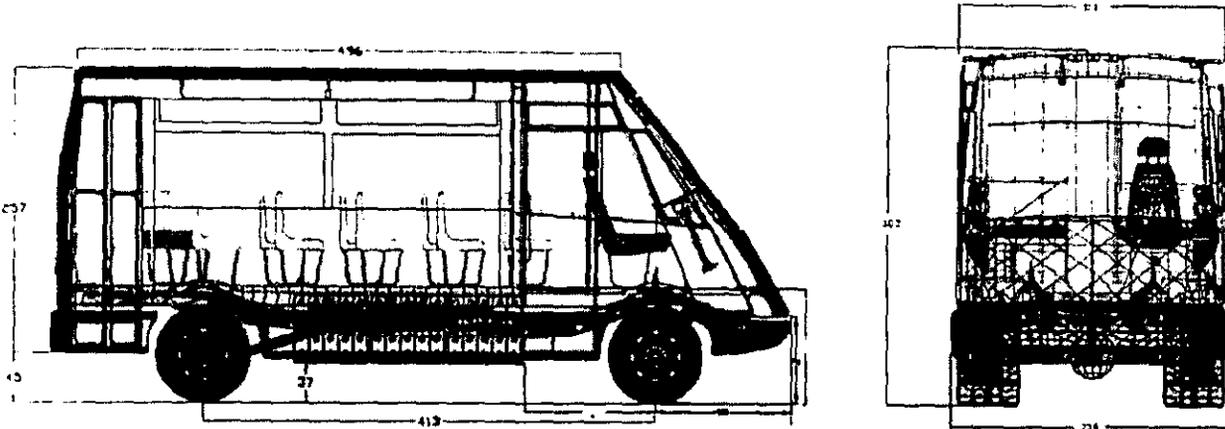
MODEL	GVW	WHLBASE	BODY	SUSPENSION		
				TYPE	RATE	CAPACITY @GRD
RAM			CAB	FRONT	804 LB/IN	4950 LB
3500 4X2	11000 LB	162.7 IN	CHASSIS			

**RAM 3500 4X2 FRONT - DIMENSION "F" & STATIC LOADED RADIUS  
vs. WEIGHT ADDED ABOVE CURB**



NOTE: DIMENSION "F" IS THE DISTANCE FROM FRAME "D" TO GROUND @ THE FRONT SPACER (SEE DRAWING)

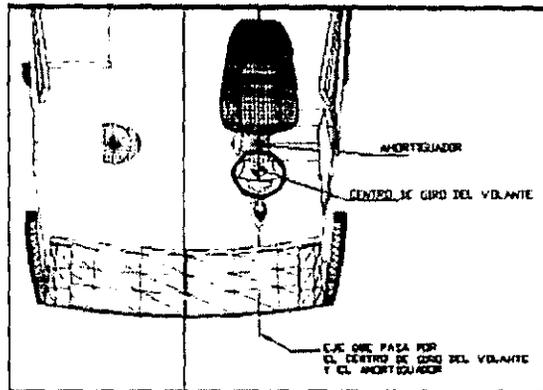
MEDIDAS DE LA CARROCERÍA DEL VEP<sup>1</sup>



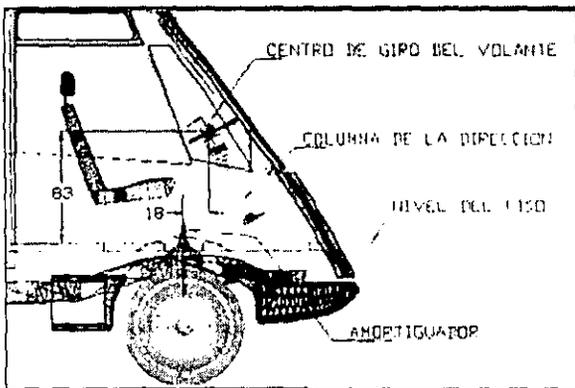
POSICIÓN DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN

+ Los dibujos muestran la posición del centro de giro del volante con respecto al nivel del piso y a la ubicación del amortiguador izquierdo del vehículo.

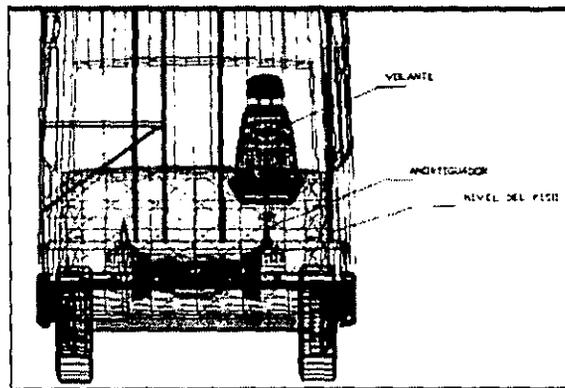
VISTA EN PLANTA



VISTA LATERAL



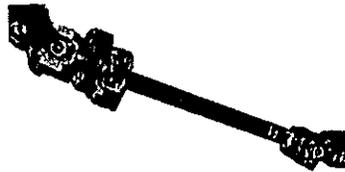
VISTA FRONTAL



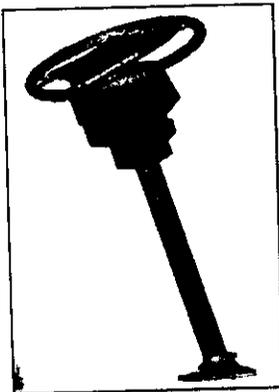
ELEMENTOS ORIGINALES DE LA DIRECCIÓN DEL CHASIS DODGE RAM 3500 MOD. 1997



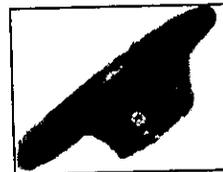
Caja de la dirección



Junta Universal



Columna y  
Volante



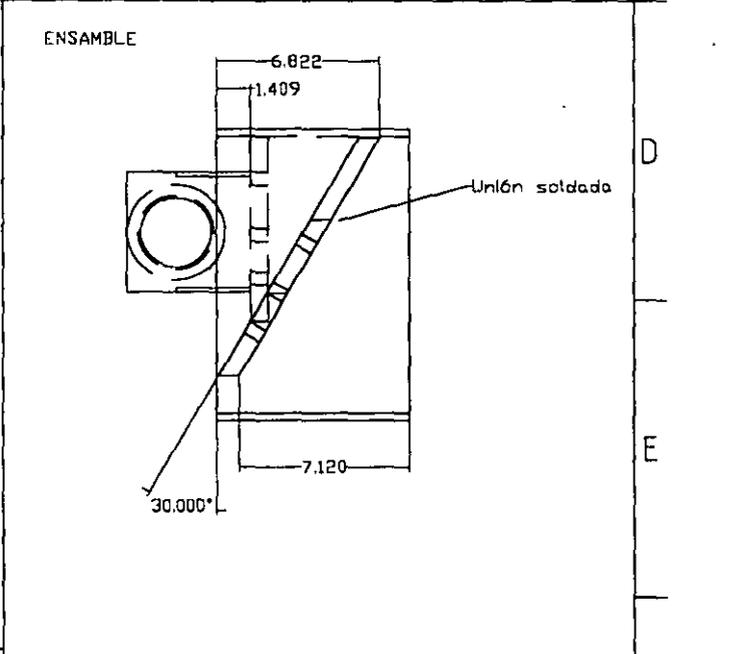
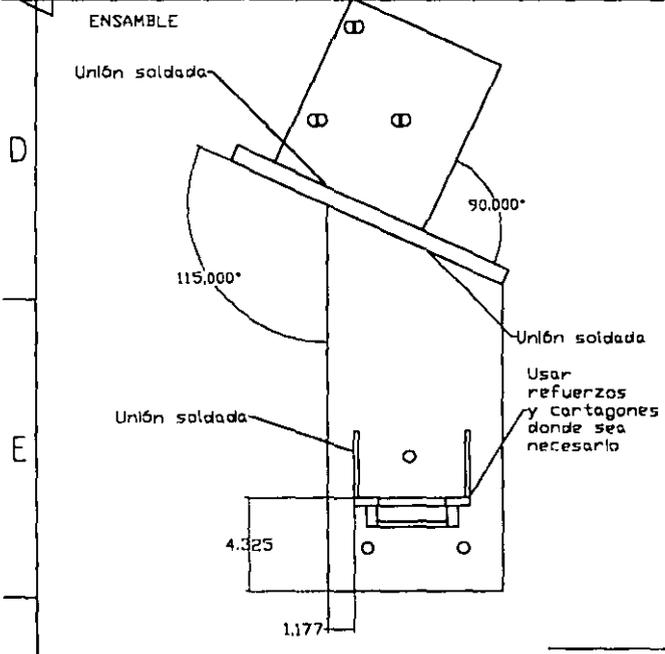
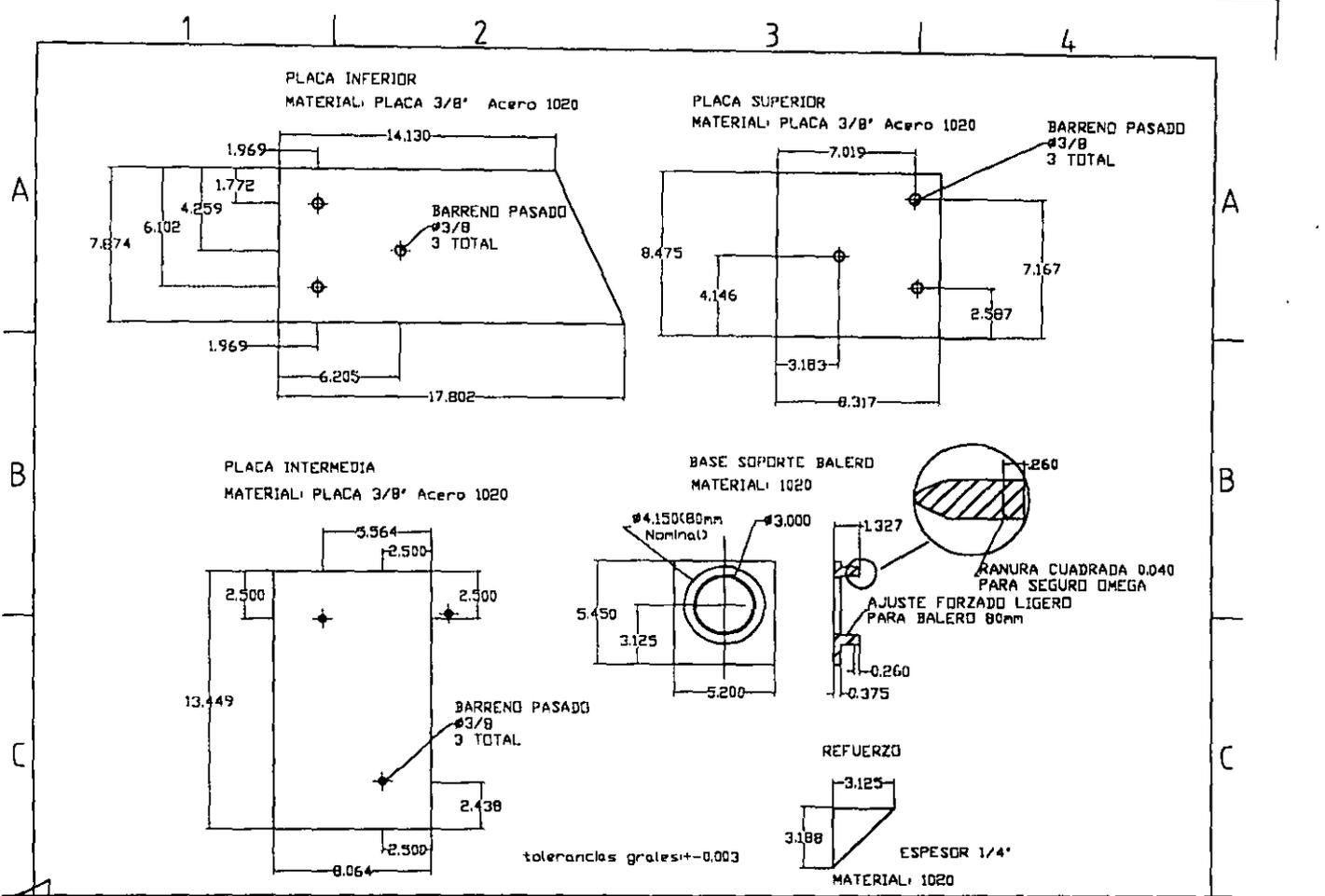
Volante

DIBUJOS PARA CONSTRUCCIÓN

LISTA DE DIBUJOS

Id.	TÍTULO	Numero
1	PLANO DE CONJUNTO	SD-01-CO
2	ESTRUCTURA	SD-02-E
3	BRIDA ESTRIADA	SD-03-B
4	EXTENSIÓN DEL EJE SECTOR	SD-04-E





Pza. No.	Cantidad	Descripción			Referencia
Diseño ECR	Revisión GVB	Aprobación GVB	Unidades pulg.	Escala S/E	
<b>VEHICULO ELECTRICO DE PASAJEROS</b>			<b>ESTRUCTURA</b>		
Sistema/subsistema: DIRECCION/CAJA DE DIRECCION				Número de dibujo: SD-02-E	

1                      2                      3                      4

A

A

B

B

C

C

D

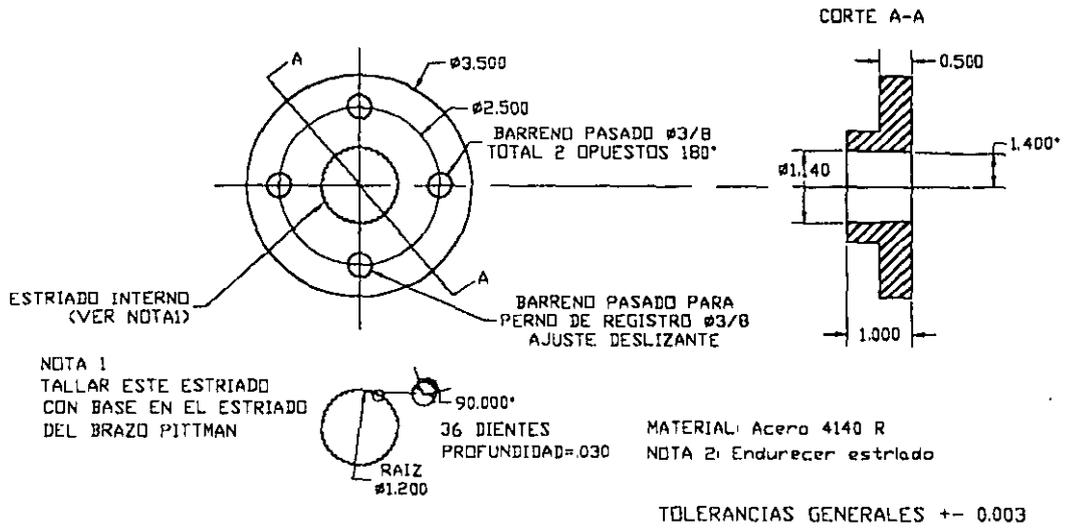
D

E

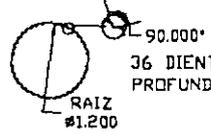
E

F

F



NOTA 1  
TALLAR ESTE ESTRIADO  
CON BASE EN EL ESTRIADO  
DEL BRAZO PITTMAN



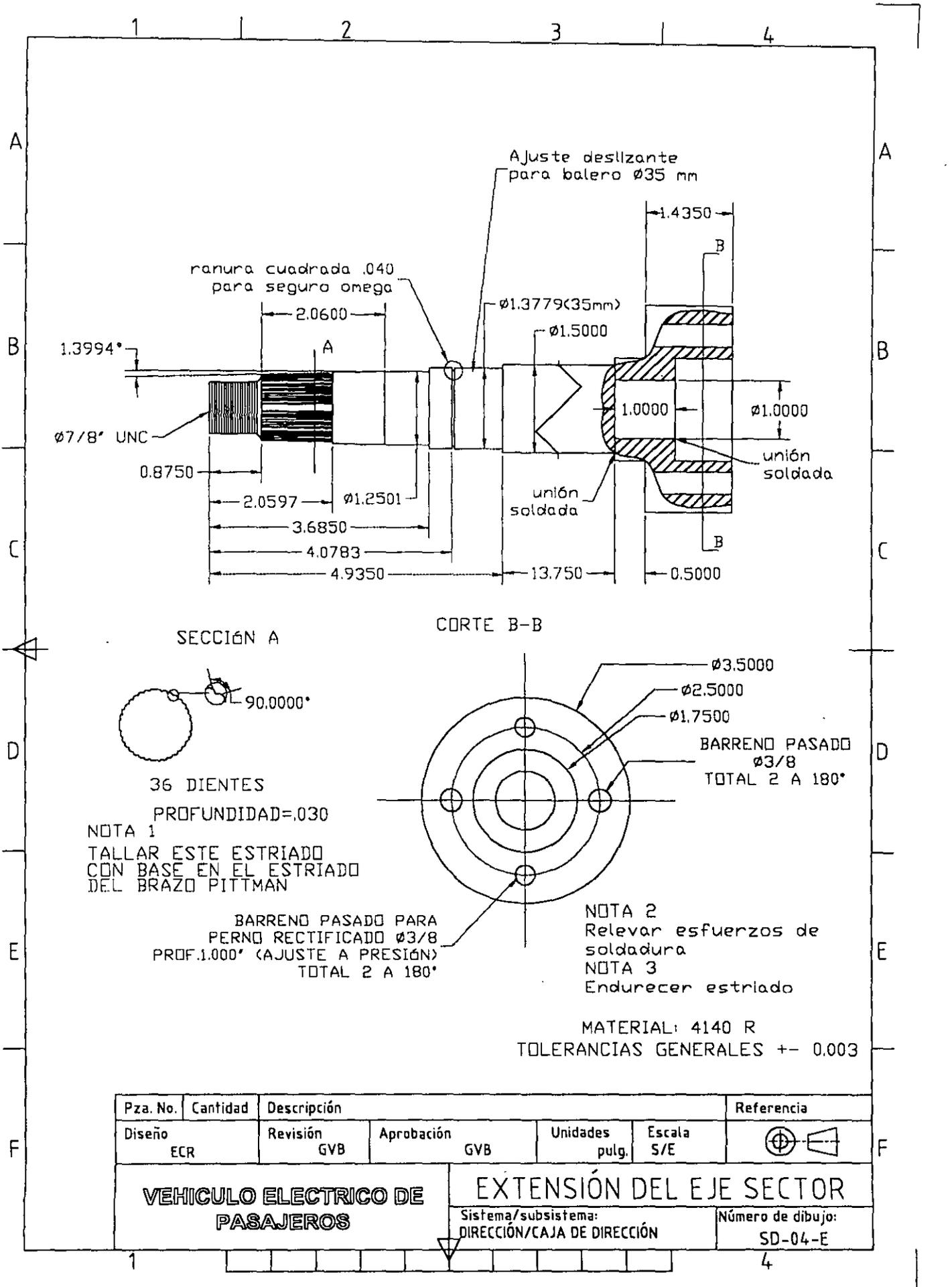
MATERIAL: Acero 4140 R  
NOTA 2: Endurecer estriado

TOLERANCIAS GENERALES +/- 0.003

Pza. No.	Cantidad	Descripción			Referencia
Diseño ECR	Revisión GVB	Aprobación GVB	Unidades pulg.	Escala S/E	
VEHICULO ELECTRICO DE PASAJEROS			BRIDA ESTRIADA		
			Sistema/subsistema: DIRECCIÓN/CAJA DE DIRECCIÓN		Número de dibujo: SD-03-B

1

4



ranura cuadrada .040  
para seguro omega

Ajuste deslizando  
para balero  $\varnothing 35$  mm

$1.3994^\circ$

2.0600

$\varnothing 1.3779(35\text{mm})$

$\varnothing 1.5000$

1.4350

B

$\varnothing 7/8$  UNC

0.8750

2.0597

$\varnothing 1.2501$

1.0000

$\varnothing 1.0000$

unión soldada

unión soldada

3.6850

4.0783

4.9350

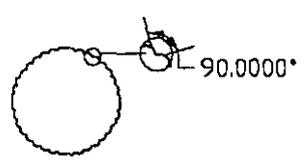
13.750

0.5000

B

SECCIÓN A

CORTE B-B



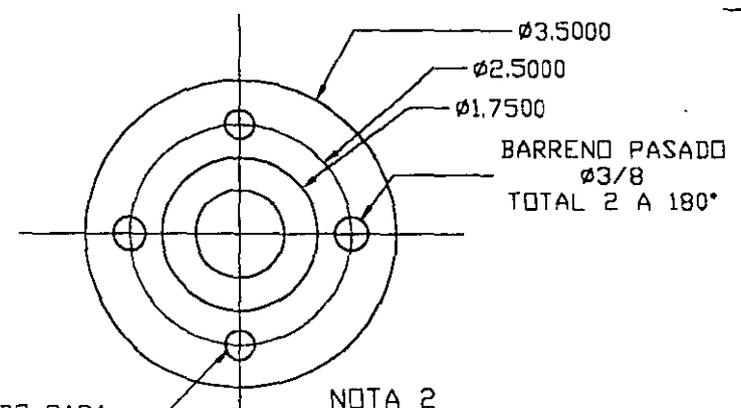
36 DIENTES

PROFUNDIDAD=.030

NOTA 1

TALLAR ESTE ESTRIADO  
CON BASE EN EL ESTRIADO  
DEL BRAZO PITTMAN

BARRENO PASADO PARA  
PERNO RECTIFICADO  $\varnothing 3/8$   
PROF.1.000" (AJUSTE A PRESIÓN)  
TOTAL 2 A 180°



$\varnothing 3.5000$

$\varnothing 2.5000$

$\varnothing 1.7500$

BARRENO PASADO  
 $\varnothing 3/8$   
TOTAL 2 A 180°

NOTA 2

Relevar esfuerzos de  
soldadura

NOTA 3

Endurecer estriado

MATERIAL: 4140 R

TOLERANCIAS GENERALES  $\pm 0.003$

Pza. No.	Cantidad	Descripción			Referencia
Diseño ECR	Revisión GVB	Aprobación GVB	Unidades pulg.	Escala S/E	
VEHICULO ELECTRICO DE PASAJEROS			EXTENSIÓN DEL EJE SECTOR		
			Sistema/subsistema: DIRECCIÓN/CAJA DE DIRECCIÓN	Número de dibujo: SD-04-E	

1

4

1. Norton L., Robert  
Diseño de Maquinaria  
McGraw-Hill  
México 1996 2° Edición
  
2. Rogers, William W.  
Interpretación del Dibujo Mecánico  
Publicaciones Cultural S.A.  
México 1973 1° Edición
  
3. Beer, Fernandin P.  
Mecánica de Materiales  
McGraw-Hill  
México 1989 2° Edición
  
4. Mora Covarrubias, César P.  
Conceptos y Principios Básicos de la Estática  
UNAM: Facultad de ingeniería  
México 1987 Fascículo 1
  
5. Zurita Esquivel, Miguel  
Reducción de Sistemas de Fuerzas  
UNAM. Facultad de Ingeniería  
México 1986 Fascículo 3
  
6. Larson, Roland E.  
Cálculo con Geometría Analítica  
McGraw-Hill  
México 1994 3° Edición
  
7. Orthwein, William C.  
Diseño de componentes de Máquinas  
Compañía Editorial Continental S.A. de C.V.  
México 1996 1° Edición

8. Thiessen, Frank J.  
Manual Técnico Automotriz.  
Prentice-Hall  
México 1996 Tomo III
  
9. Robert L., Norton  
Diseño de Máquinas  
Prentice Hall  
México 1999 1° Edición
  
10. Ulrich, Karl T.  
Product Design and Development  
McGraw-Hill  
Edición Internacional 1995
  
11. Roozenburg, N. F. M.  
Product Design: Fundamentals and Methods  
John Wiley & Sons 1995
  
12. Charloteaux, M.  
Suspensión y Dirección  
Serie Técnica del automóvil Tomo VII  
Marcombo  
Barcelona 1975

#### INFORMACIÓN ADICIONAL

13. Aceros Fortuna  
Tabla de Propiedades de Aceros Grado Maquinaria  
México 1995
  
14. Lovejoy  
Catálogo General de Productos  
"Universal Joints"
  
15. SKF  
Catálogo General de Productos  
SKF 1989