

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DE SEMIRREMOLQUE MECATRÓNICO  
EXPERIMENTAL PARA ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO  
DINÁMICO Y DIRECCIONAL.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN  
(SISTEMAS MECATRÓNICOS)**

*PRESENTA*

**ERANDI BARRERA LOZANO**

DIRIGIDA POR:

**DR. LIBORIO JESÚS BORTONI ANZURES**

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. MAYO 2009

**BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

No. Adq. H73658

No. Título \_\_\_\_\_

Clas TS

629.245

B272d

\_\_\_\_\_

## **Resumen**

El propósito de este trabajo es demostrar las ventajas que conlleva adaptar un eje autodireccional a una unidad de arrastre, (en este caso un semiremolque experimental), para esto se realizaron una serie de maniobras estandarizadas llamadas: Giro estacionario, Giro transitorio y Slalom, estas fueron efectuadas con dirección fija y dirección móvil (en el eje del semiremolque). Para validar la efectividad en la dirección móvil se utilizaron dispositivos tales como: GPS, potenciómetros rotatorios, giroscopios y acelerómetros, con el fin de obtener datos sobre la dinámica vehicular del semiremolque. Los resultados demuestran que se logra reducir el ancho de vía, invasión de carril y despiste a baja velocidad del semiremolque.

**(Palabras clave:** semiremolque, maniobras, móvil, dinámica, despiste)

A mi Mamá, por todo su amor.

Agradezco a mi Mamá por su apoyo incondicional, por haber creído en los milagros, por demostrarme que las cosas no son fáciles pero posibles y que todo pasa por algo, aunque no entendamos ¿Por qué?

A Memo que siempre nos ha apoyado mejor de lo que alguien pudo pedir como Papá, como miembro especial de esta pequeña familia, con su experiencia, paciencia y comprensión.

A mi hermana, que aunque no la entiendo, según la historia le debo haber aparecido en el mapa, por apoyarme siempre y por haberme dado unas traviesas enanas que quiero mucho.

A mis Director de tesis, Dr. Liborio Bortoni, Sinodales: M.C. José Luis Avendaño, Dr. Manuel Toledano, Dr. Edgar Rivas, al Dr. Gilberto Herrera, a Yola, Gloria, Toñito, Blanquita y todos aquellos que nos apoyaron en cada uno de nuestros problemas, confusiones y traumas.

A mis mejores amigos que los quiero mucho, Vale, Sase, Luis, que durante toda la carrera me apoyaron, me entendieron y soportaron, por esos tacos en la noche que ayudaron a alimentar la cría, por esas vacaciones que pasamos juntos dentro y fuera de la escuela, a mis amigas: Maribel, Mari Carmen y Marili, por ser parte de mi familia, por su apoyo incondicional, bromas y burlas.

# INDICE

	PAGINA
Resumen.....	i
Dedicatorias.....	ii
Agradecimientos.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	vi
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Estudios llevados a cabo a mediados de los años 90's.....	2
1.1.2 Estudios llevados a cabo a partir del 2000.....	3
<b>1.2 Justificación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Hipótesis.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Objetivos.....</b>	<b>8</b>
<b>2 GENERALIDADES.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Estabilidad direccional.....</b>	<b>9</b>
2.1.1 Geometría de dirección.....	10
<b>2.2 Estabilidad lateral.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Medidas de desempeño.....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Geométrico a baja velocidad (DBV).....	14
2.3.2 Despiste a baja velocidad (DBV).....	15
2.3.3 Ancho total del barrido (ATB).....	15
<b>2.4 Daños a pavimentos.....</b>	<b>19</b>
<b>3 DISEÑO DE SEMIREMOLQUE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Características dimensionales.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Diseño de copleé ajustable.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Ajuste en la dimensión de semiremolque.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4 Control direccional en semiremolque.....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Mejoras al diseño.....</b>	<b>29</b>
<b>4 INSTRUMENTACIÓN. ....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Sensores utilizados.....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Posición angular.....	35
4.1.2 Sensor de dirección en el eje del semiremolque.....	36
4.1.3 Sensor de articulación. ....	37
4.1.4 Sensor de velocidad. ....	38
4.1.5 Acelerómetro.....	38
4.1.6 Giroscopio.....	40
4.1.7 GPS.....	41
<b>4.2 Captura de señales.....</b>	<b>44</b>
4.2.1 CODIPA 2.....	44
4.2.2 GPS.....	45
<b>4.3 Acondicionamiento de señales.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 SOFTWARE DE CAPTURA.....</b>	<b>48</b>
4.4.1 USB-CAP.....	48

4.4.2 Gyro-View.....	50
4.4.3 GPS Utility.....	51
<b>5 DISEÑO DE PRUEBAS. ....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Maniobra de Giro Estacionario.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2 Maniobra de giro Transitorio.....</b>	<b>56</b>
<b>5.3 Maniobra tipo slalom.....</b>	<b>59</b>
<b>6 CONCLUSIONES. ....</b>	<b>64</b>
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS. ....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>69</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PAGINA</b>
Figura 1. Remolque experimental. ....	8
Figura 2. Geometría de giro en un vehículo con dos ejes en tándem.....	10
Figura 3. Giro estacionario en vehículo tractor semirremolque.....	11
Figura 4. Modelo de un vehículo de vuelco con suspensión elástica.....	12
Figura 5. Diferentes combinaciones de tractore y semiremolques.....	21
Figura 6. Comparación de las dimensiones entre un T3S2 y el semiremolque experimental. ....	23
Figura 7. Posición de las extensiones.....	24
Figura 8. Tipos de cajas. ....	25
Figura 9. Esquema sistema de dirección. ....	26
Figura 10. Actuador Linak modelo LA12 .....	27
Figura 11. Posición del actuador en el semiremolque.....	27
Figura 12. Diagrama de bloques del control mediante lógica difusa.....	29
Figura 13. Diseño de neumáticos duales. ....	30
Figura 14. Diseño de Semiremolque experimental.....	31
Figura 15. Camioneta – remolque instrumentado.....	32
Figura 16. Vehículo T3S2R4. ....	33
Figura 17. Vehículo T3S2.....	33
Figura 18. Vehículo T3S2 con semiremolque tipo cama baja.....	34
Figura 19. Potenciómetro. ....	36
Figura 20. Sensor de ángulo de dirección colocado en el neumático del semiremolque. ....	37
Figura 21. Sensor en el ángulo de articulación. ....	38
Figura 22. Posición de los acelerómetros en el semiremolque.....	40
Figura 23. Giroscopio en el interior de la camioneta.....	41
Figura 24. Receptor Garmin GPS 18 (Garmin). ....	42
Figura 25. Diagrama de bloques, posición de los instrumentos utilizados. ....	44
Figura 26. Tarjeta de adquisición de datos. ....	45
Figura 27. Posición del GPS. ....	46
Figura 28. Programa USB-CAP. ....	49
Figura 29. Programas de adquisición de datos. ....	50
Figura 30. Programa LabView y la señal de los acelerómetros e inclinó- metros. ....	51
Figura 31. Programa de captura de señal de GPS (GPS Utility).....	52
Figura 32. Vista de trayectoria en el programa GPS Utility.....	52
Figura 33. Giro estacionario en baja y alta velocidad.....	54
Figura 34. Resultados de la prueba, giro en estado estacionario.....	54
Figura 35. Maniobra de giro estacionario (a) con eje fijo y (b) con eje direccional en el semiremolque. ....	55
Figura 36. Giro transitorio. ....	56
Figura 37. Resultados de la prueba, giro estacionario.	57
Figura 38. Giro transitorio, dirección fija. ....	57
Figura 39. Giro transitorio, dirección móvil. ....	58
Figura 40. Maniobra tipo slalom. ....	59



Figura 41. Maniobras de slalom. ....	60
Figura 42. Maniobra tipo slalom con eje fijo y con control direccional en el semiremolque. ....	61
Figura 43 .Comparación del ancho de vía en diferentes configuraciones vehiculares durante una maniobra de giro transitorio.....	63

## INDICE DE GRAFICAS

<b>GRAFICA</b>	<b>PAGINA</b>
Grafica 1. Giro transitorio con dirección fija. ....	58
Grafica 2. Giro transitorio con dirección móvil. ....	59
Grafica 3 Velocidad angular complementaria, para el ejemplo de maniobras de slalom., con eje fijo. ....	62
Grafica 4. Velocidad angular complementaria, para el ejemplo de maniobras de slalom, con eje móvil. ....	62

## **1 INTRODUCCIÓN.**

Es importante reconocer que contar con sistemas de transporte que sean seguros y eficientes, es una manera de optimizar costos, minimizar el desgaste en carreteras, pavimentos y neumáticos.

La incorporación de ejes al transporte de carga, puede considerarse como una alternativa, que actúa como una solución para incrementar la carga útil transportada, aun que no resuelve el problema ya que a mayor numero de ejes, decrementa la maniobrabilidad y aumenta el daño a pavimentos, la separación de los ejes está ligada al efecto potencial de los vehículos, aun que el beneficio de una mayor carga se ve afectado por posible daño a la infraestructura vial.

Las alternativa que se considera en este trabajo, es la de modificar la rigidez en los ejes del semiremolque, es decir, hacer que el eje (o ejes), sea (n) auto direccional (es), en base al funcionamiento en los vehículos motorizados.

En este capítulo se hace una reseña cronológica de estudios y trabajos realizados en años recientes, llevados a cabo por instituciones públicas y privadas de diversos países relacionados con el tema.

En el capítulo dos mencionan diferentes consideraciones de estabilidad direccional y lateral, características que necesitan para la implementación y evaluación de los sistemas así como las medidas de desempeño y el daño que generan los vehículos articulados a pavimentos.

El capítulo tres habla del diseño del semiremolque experimental, se pretende adaptar un eje con dirección móvil (en base al sistema de dirección en los sistemas de transporte), así como las consideraciones tomadas en cuenta para la implementación de este.

En el capítulo cuatro se implementó una instrumentación básica, considerando los datos principales para una interpretación más clara de los datos, así mismo se intentó que la comunicación de los instrumentos con el usuario fuera amigable, por medio de software de captura sencillos.

En el capítulo cinco se considera los resultados de las pruebas con los datos adquiridos, estas pruebas constan de maniobras estándar a baja velocidad, realizadas con dirección fija y móvil, con la finalidad de comprobar si al adaptar un sistema diferente en remolque y semiremolque, el ancho de vía se reduce y el despiste es menor.

## **1.1 Antecedentes.**

### **1.1.1 Estudios llevados a cabo a mediados de los años 90's.**

En el 1995, la facultad de ingeniería de la Universidad de Sao Paulo, realizó un estudio para evaluar las maniobras de vehículos pesados en carreteras e intersecciones brasileñas.

En la Universidad de Laval han considerado ensayos en campo a baja y a alta velocidad (Corbin *et al.*, 1995).

En la Universidad de Cambridge se conformó a mediados de los años noventa el *Cambridge Vehicle Dynamics Consortium (CVDC)*, el principal objetivo del Consorcio de investigación es el desarrollo de la mejora de las suspensiones de camiones que maximizan la seguridad, minimizar los daños de carreteras y mejorar la comodidad del viaje y el conductor del vehículo evitando vibración transmitida al cuerpo. La investigación se concentra en la optimización de los actuales componentes de suspensión y está investigando avanzado concepto con suspensiones controlada por ordenador "activo" y "semi-activa". El trabajo consiste

en la elaboración de modelos de computadoras, laboratorio de ensayo de prototipos de equipos y las pruebas de campo de los vehículos instrumentado.

En 1998, C. Winkler, del Instituto de Investigación en el Transporte de la Universidad de Michigan (UMTRI: *University of Michigan Transportation Research Institute*), llevó a cabo a finales de los noventa, investigaciones relacionadas con la medición del desempeño dinámico en oscilación direccional (*yaw*), de vehículos equipados con ejes virables, al virar estos ejes por efecto del denominado avance de la alineación o *caster* (Winkler, 1998). El autor examinó la influencia potencial, sobre la desestabilización del vehículo, de un eje montado en la parte trasera (*booster axle*), tanto en el caso de un semiremolque como para un vehículo no articulado.

Se descubrió que este eje disminuye la maniobrabilidad y estabilidad direccional del vehículo, aunque en otros ejes viables, con diseños más avanzados puede mejorar el desempeño de los vehículos articulados

### **1.1.2 Estudios llevados a cabo a partir del 2000.**

Dentro del conjunto de estudios para mejorar a los vehículos pesados, se tiene la tesis de vehículos articulados con sistemas de dirección articulados (*Active Roll Control of Articulated Heavy Vehicles*), en el departamento de Ingeniería de la Universidad de Cambridge, Reino Unido, 2000.

Esta tesis tiene que ver con la utilización de sistemas de control activo consistente en activo **anti-vuelco** para mejorar el despliegue de la estabilidad y la unidad articulada a los vehículos pesados.

La Universidad de Berkeley dirige un proyecto denominado "California PATH" en que se plantean las bases para una carretera inteligente donde vehículos

automatizados puedan circular en trenes de carretera. En 2000 presento el prototipo de vehículo pesado.

El experimento se baso en la instrumentación de un tractor para tener el control lateral y longitudinal, en modelos anteriormente utilizados. Se desarrollaron e instalaron actuadores para el control diferenciado del freno. Se instalaron magnetómetros para medir la dislocación lateral del vehículo con respecto al centro del camino.

Los diseños que se llevaron a cabo con anterioridad dieron una respuesta exitosa para poder manejar la prueba de frenado con diferenciado, en el último año el proyecto tenía como objetivo lograr las pruebas en carretera utilizando el frenado, para demostrar que el control lateral funcionaba de acuerdo a las expectativas planeadas.

El MOU 313 (Control lateral de transporte pesado y para los sistemas automatizados de la carretera en el año 1998-1999). Fue creado con la finalidad de demostrar que existe una nueva forma de manejo automático para vehículos de carga.

En 2002 se llevaron a cabo estudios en Australia y Asia los cuales trataban las potenciales ventajas de emplear arreglos direccionales en los ejes, con objeto de "mejorar la movilidad de los vehículos al tiempo de incrementar la productividad de los transportistas". De acuerdo con esto, su enfoque es tanto técnico como normativo.

En este contexto, Coleman y Sweatman (2002) encuentran razones para analizar el uso de más de un eje virable en los vehículos combinados. Para ello se plantean las consecuencias negativas de la incorporación de otros ejes no direccionales en las combinaciones vehiculares, a saber:

- Desgaste incrementado de las llantas
- Despiste incrementado
- Deterioro mayor del pavimento
- Mayor resistencia al desplazamiento hacia delante del vehículo
- Efectos negativos sobre el control direccional del vehículo

Se identifican como beneficios de los ejes direccionales, los siguientes:

- Reducción del despiste del vehículo, en sus diferentes modalidades
- Reducción del desgaste de las llantas
- Reducción del deterioro de los pavimentos

En 2003, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) en Madrid España, desarrollo un sistema que ayuda al conductor en la maniobra de adelantamiento, para intentar reducir el riesgo de accidente mientras camiones y autobuses realizan maniobras de rebase,.

Este dispositivo está formado por una serie de sensores de posicionado y aproximación y una unidad de control. Estos sensores se colocan en la parte frontal, trasera y lateral del vehículo para detectar que se está produciendo un adelantamiento y calcular la distancia a recorrer para adaptar su velocidad.

Esto permite realizar el adelantamiento en el menor tiempo posible sin sobrepasar los límites establecidos y con el menor riesgo de accidente. Mientras dura el adelantamiento, el sistema aumenta la velocidad hasta un máximo de 15 kilómetros por hora por encima del valor fijado en el limitador de velocidad instalado en los vehículos pesados, de acuerdo con la directiva de la UE 92/24.

Una vez que la unidad de control detecta que el adelantamiento ha finalizado, devuelve al vehículo la velocidad que llevaba antes de producirse el adelantamiento (Truco 2003).

En el mismo año, investigadores de la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología en Pingtung, Taiwán, realizaron una investigación orientada al estudio del comportamiento dinámico de los ejes virables en semiremolques, empleando para ello un modelo de respuesta plana en oscilación direccional, y un esquema de control de la estabilidad direccional del vehículo (Wu y Jia, 2003). La motivación principal de tales investigaciones se ubica en el desarrollo de sistemas activos de control direccional, diseñados para mejorar el comportamiento a baja y alta velocidad del vehículo.

En 2003, Ontario y Quebec se han hecho en los últimos 10 años tres estudios con miras a establecer las ventajas viales de los ejes virables en unidades remolcadas. El estudio en Ontario fue realizado en una institución federal (*Centre for Surface transportation technology, del Nacional Research Council of Canada*).

Los estudios realizados en Ontario por el Billing y Patten (2003), han evaluado las combinaciones vehiculares equipadas con ejes direccionales, incluyendo su desempeño a baja como a alta velocidad y enfoques teóricos y de campo (Billing, 2004).

En el Centro para las tecnologías de transporte de superficie, la motivación para este estudio provino de la necesidad de introducir ejes direccionales en las combinaciones vehiculares, a fin de evitar totalmente el uso de ejes retractiles o "levantables" (*Liftable axles*), al tiempo de obtener combinaciones "amigables" con la infraestructura. Una combinación amigable para con la infraestructura se caracterizó entonces como aquella consistente de un eje virable delante de un eje tridem o de un tándem, el cual provocaría menos daño a la infraestructura.

En 2005 se inicia el trabajo de investigación para el desarrollo de un sistema automático de control direccional en vehículos articulados T3S2, en la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, bajo la dirección del M.I. Liborio J. Bortoni Anzures, se desarrollo un sistema de instrumentación para mediciones



del desempeño geométrico-dinámico de estos vehículos (Muñiz & Rangel 2007, Bortoni 2007), actualmente se cuenta con un semiremolque experimental en el que se prueban diferentes algoritmos de control direccional.

## **1.2 Justificación.**

Durante los últimos años el incremento de vehículos T3S2, se ha apreciado considerablemente, ya que su viabilidad económica es considerablemente baja, así como su capacidad de carga, es decir, mayor productividad (transporte de cualquier especie) a menores precios.

Las diversidad de estos vehículos, depende mucho del tipo de trabajo para el que se requiera, en esto predomina el peso y tamaño, lo cual influye en la rigidez y poco control del vehículo, provocando algunos inconvenientes al parque vial y un potencial daño en infra estructura carretera.

El problema está latente, es por ello que instituciones de diferentes países que presentan este tipo de problema, se han dedicado a la tarea de estudiar una mejor opción en condiciones de desempeño en los vehículos, con un punto de vista diferente intentado mejorar las características del vehículo, considerando integrar ejes de diferentes características para facilitar el funcionamiento de estos.

## **1.3 Hipótesis.**

La maniobrabilidad en los vehículos de carga puede llegar a ser mayor, con la implementación de un eje o ejes con dirección móvil, en remolques y semiremolques (conocidos como unidades de arrastre), con el fin de comprobar, si el rendimiento es mejor que con una dirección fija (modo convencional).

#### 1.4 Objetivos.

1. Instrumentación del semiremolque experimental para la adquisición de datos en pruebas estandarizadas.
2. Comprobar la eficacia de un eje con dirección móvil en contraste con la dirección fija el semiremolque experimental.
3. Proponer un sistema de control direccional en los neumáticos.
4. Implementar la metodología obtenida para el desarrollo del prototipo del vehículo articulado con sistema de dirección (Figura. 1).

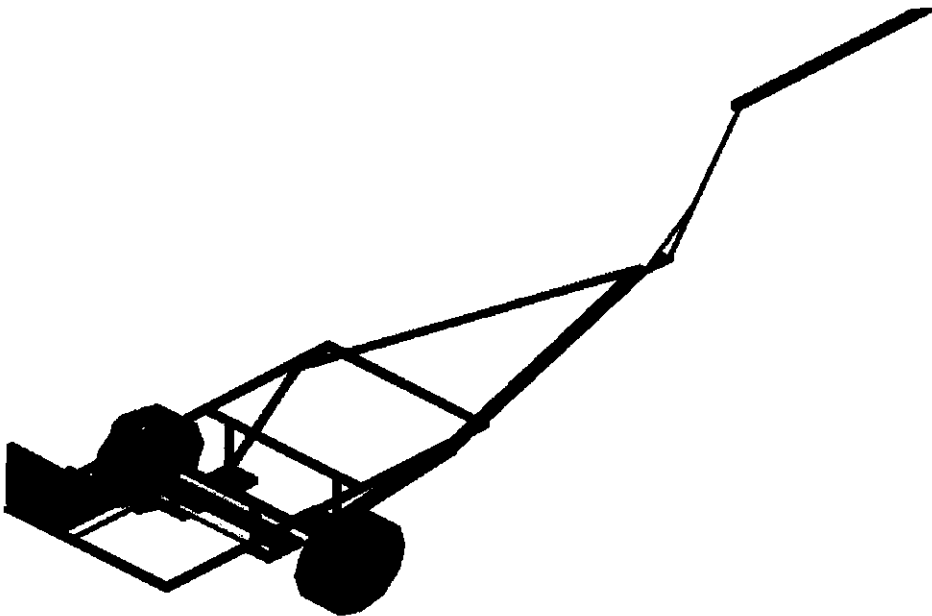


Figura. 1 Remolque experimental

## **2 GENERALIDADES.**

En este capítulo se lleva a cabo una revisión a detalle de las circunstancias que se relacionan con la estabilidad en un vehículo articulado, como son: control direccional, tendencia a volcarse y la relación que se tiene con la superficie en la que transita.

Necesitamos que un vehículo no tenga un comportamiento impredecible en condiciones normales de conducción, esto habla de la estabilidad del mismo, esto quiere decir que el vehículo se comporta de forma lineal y sus entradas se comportan de forma proporcional, se pueden considerar, que la acción en el volante, ya sea al frenar e incluso al acelerar, permite que el conductor tenga la oportunidad de elegir las combinaciones que el crea necesarias para recibir la respuesta que deseada.

### **2.1 Estabilidad direccional.**

Según Aparicio en 1995 considero factores especiales que influyen en las características direccionales de los vehículos articulados, a continuación se mencionan:

- Dimensionales: Distancia entre ejes y ancho de vía.
- Reparto de masas: Posición del centro de gravedad, relación entre masa suspendida y masa no suspendida.
- Aerodinámicas: Coeficientes aerodinámicos de fuerza lateral y momento de guiñada
- Neumáticos: Rigidez de deriva, variaciones de acuerdo a la carga y esfuerzos transversales.
- Suspensión: Características geométricas y dinámicas

- Características del medio: Ángulo de incidencia del aire, irregularidades del pavimento, radio de curvatura, peralte y coeficiente de adherencia.
- Velocidad: Este llega a afectar todos los anteriores.

La combinación que existe entre los movimientos que ejerce el conductor y los elementos de control, provocan reacciones dinámicas sobre el vehículo creando un sistema, esto es posible gracias a la estabilidad direccional la cual involucra los valores que generan las variables para definir el movimiento lateral que se dirige a los valores correspondientes del sistema en estado estacionario, en un tiempo finito al finalizar la perturbación que se realizó.

### 2.1.1 Geometría de dirección.

Por lo general cuando un vehículo está conformado por más de dos ejes, sólo uno de ellos tiene movimiento, normalmente se le conoce como dirección (directriz), los otros ejes se mantiene fijos con respecto a la estructura del tractor esto provoca que no sea posible realizar giros sin deslizamiento lateral de los neumáticos (Figura. 2).

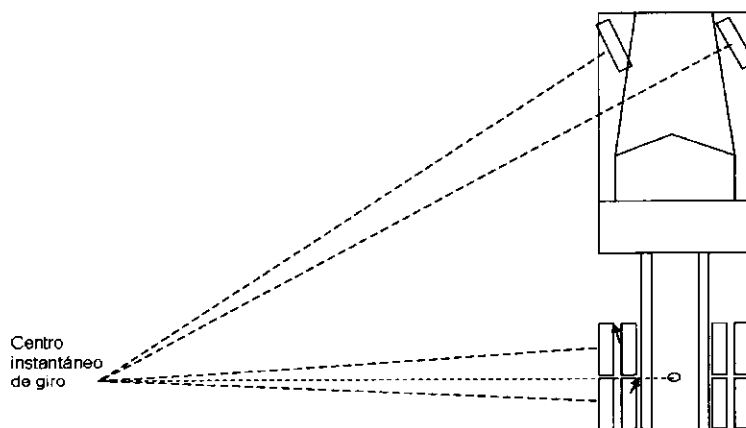


Figura 2. Geometría de giro en un vehículo con dos ejes en tándem.

En el caso de manejar el tractor-semiremolque, el grado de maniobrabilidad disminuye, ya que no son sólo los ejes fijos del tractor sino que se incluyen los del semiremolque, como ya se menciono, uno de todos los ejes tiene dirección y el grado de dificultad aumenta en el manejo del vehículo.

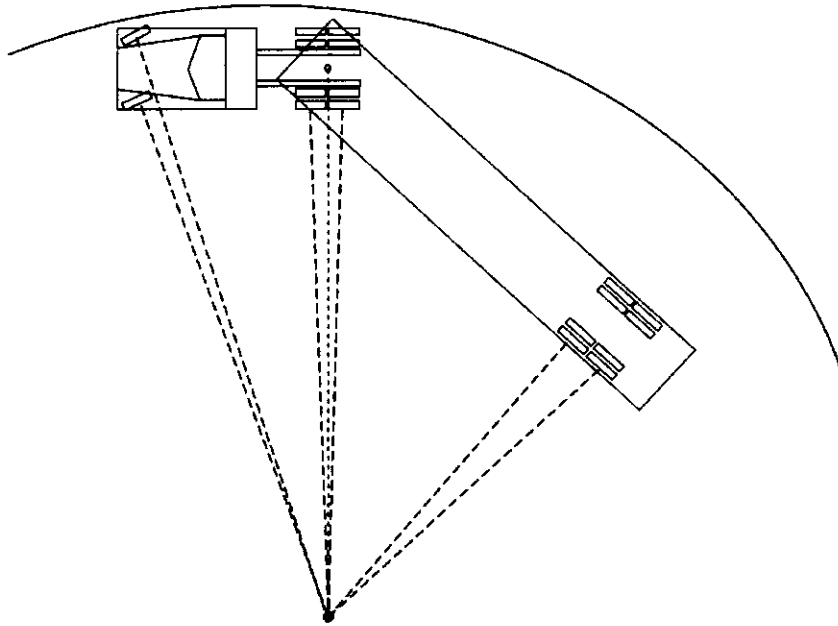


Figura 3. Giro estacionario en vehículo tractor-semiremolque.

En la figura 3 se puede apreciar que cuando se intenta hacer un giro manteniendo constante el ángulo de dirección, este permanece en estado estacionario, de modo que el centro de cada uno de sus ejes se mueve en una trayectoria de radio constante.

La desviación de rodada se define como la diferencia entre la trayectoria de los neumáticos de diferentes ejes, provoca que el ancho de vía se mayor para circular como consecuencia de esto se llega a la invasión de carril, esto fue representado por la ecuación de Ackerman:

$$DR = R_1 \cdot \sqrt{R_1^2 - L_1^2 + d_1^2 - L_2^2} \quad (1)$$

Donde:

$R_1$  = Radio de giro en el eje directriz.

$L_1$  = Distancia entre ejes (tractor).

$d_1$  = Distancia entre el eje del tractor y la quinta rueda.

$L_2$  = Distancia entre la quinta rueda y el eje en el semiremolque.

## 2.2 Estabilidad lateral.

Se encarga de la capacidad que el vehículo tiende a resistirse al vuelco, los vehículos articulados de carga tienen un centro de gravedad elevado esto provoca que la posibilidad de volcarse aumente considerablemente (Figura. 4).

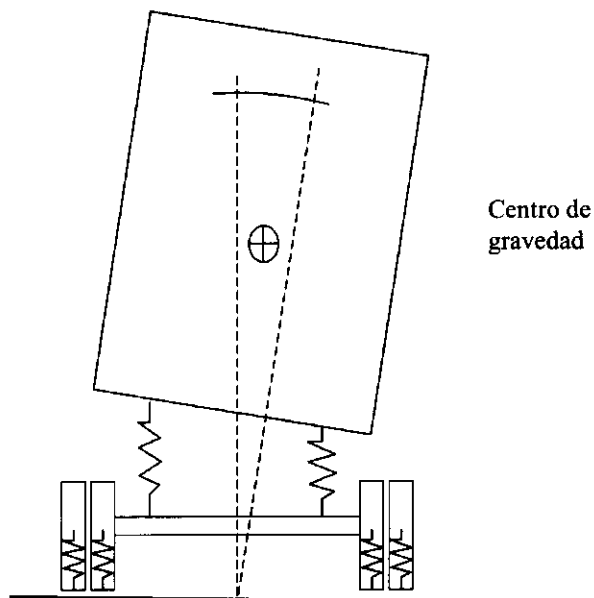


Figura 4. Modelo de un vehículo de vuelco con suspensión elástica.

Los ejes en los vehículos articulados de carga aguantan una cierta cantidad de masa, estos disponen de una suspensión que a su vez provee de una rigidez la cual balancea de distintas formas, cada uno de ellos, las alturas también se ven afectadas, ya que corresponden a los centros de gravedad.

El vehículo tractor-semiremolque tiene una rigidez de balanceo en cada uno de sus ejes, este se va dando de menor a mayor comienza en el eje directriz y va avanzando hasta llegar al último eje del semiremolque. Las recomendaciones y modificaciones en el régimen de carga que se necesitan deben de ser en el último eje ya que este determina el riesgo de vuelco.

Otra de las aportaciones que tuvo Aparicio en 1995, fueron las de dar a conocer importantes factores para determinar la estabilidad lateral del vehículo, a continuación se mencionan:

- Balanceo de la masa suspendida
- Deformaciones causadas por la fuerza lateral
- Deformaciones causadas por las fuerzas longitudinales
- Deformaciones causadas por los pares de auto alineación
- Deformaciones causadas por las cargas verticales dinámicas
- Ángulo de caída del neumático
- Par de balanceo y su distribución en los diferentes ejes
- Esfuerzos longitudinales
- Pares autoalineantes
- Distribución en los ejes de la masa suspendida
- Distribución en los ejes de la masa no suspendida
- Posición del centro de gravedad
- Batalla
- Centros de balanceo
- Distribución de los pares de balanceo
- Coeficientes de guiado por balanceo
- Rigidez de la dirección
- Rigidez de deriva
- Rigidez de caída
- Propiedades del par de auto alineación

- Características aerodinámicas

## **2.3 Medidas de desempeño.**

El comportamiento vial de los vehículos articulados de carga se puede llevar a cabo con ayuda de las medidas de desempeño, los cuales pueden estar constituidos por uno o más ejes en el semiremolque, existen diferentes medidas de desempeño tales como:

- Geométricas de baja velocidad
- Geométricas a alta velocidad
- Estabilidad direccional y lateral
- Efecto sobre el pavimento
- Eficiencia energética
- Desgaste de las llantas
- Situaciones extremas

En las pruebas se utilizan sistemas de adquisición de datos normalizados para valorar las perturbaciones tales como: cambio de velocidad, frenado, cambio de dirección, etc. Las medidas de desempeño se analizan al realizar las maniobras y los efectos que llegan a presentarse en el pavimento.

### **2.3.1 Geométrico a baja velocidad.**

Este desempeño se refiere a la invasión de espacios adyacentes del camino, en palabras generales se refiere a la posible invasión de carril por parte de los ejes o carrocería de los vehículos durante maniobras a baja velocidad.



### **2.3.2 Despiste a baja velocidad (DBV).**

Se refiere al desplazamiento interior de la huella del último eje del remolque con respecto a la trayectoria en el eje delantero del tractor esto se lleva a cabo cuando el tractor semiremolque sigue una trayectoria de 90° a la derecha, (Billing, 2003). De acuerdo con Billing el despiste no debe de ser mayor a 6m en una curva de 11m de radio esto se considera como una regla aunque en curvas muy cerradas se llega a complicar.

### **2.3.3 Ancho total del barrido (ATB).**

Se considera como el desplazamiento lateral máximo entre la trayectoria de la esquina exterior delantera del vehículo y el filo delantero exterior de la rueda direccional externa delantera de la unidad, durante una vuelta con un radio pequeño a baja velocidad, (Coleman & Sweatman, 2002).

#### Ancho del barrido en círculo a baja velocidad

Considerado como el ancho máximo de la trayectoria barrida que se realiza una maniobra cerrada (círculo), (Jujnovich & Cebon, 2002).

#### Barrido frontal (BF)

Se conoce como la desviación máxima entre la trayectoria de la esquina delantera exterior del semiremolque y la orilla delantera exterior de la rueda direccional en el exterior delantero del tractor, (Coleman & Sweatman, 2002).

#### Barrido de la Zaga (BZ)

Se define como la máxima distancia lateral de la parte trasera del vehículo que se desplaza por fuera de la trayectoria de la rueda delantera, con respecto al tractor.

### Geométrico a alta velocidad.

La desviación de la trayectoria que existe entre el tractor y el semiremolque, se denomina como medida de desempeño, debe de realizarse a velocidades mayores a 80 Km/h

### Despiste a alta velocidad (DAV)

El despiste a alta velocidad se denomina como la cantidad de espacio adicional usado por la combinación vehicular en una maniobra evasiva, (Coleman & Sweatman, 2002). Se llega a realizar a una velocidad de 90 Km/h; high speed offtracking (despiste a alta velocidad), se considera como otra medida de desempeño en la cual las ultimas llantas del semiremolque se desplazan fuera de las llantas del tractor en una trayectoria de radio constante.

### Cambio de carril a alta velocidad

Considerado como un indicador potencial del vehículo para invadir el carril vecino o para sufrir una volcadura al golpear una barrera u obstáculo, esta medida cuantifica la oscilación direccional (YAW) en una perturbación direccional rápida, (Billing, 2003).

### Estabilidad direccional y lateral.

Estas medidas de desempeño están relacionadas con la posibilidad de que el vehículo llegue a ser inestable, pudiendo ser direccional esto se caracteriza por la probabilidad de estar involucrado en inestabilidad lateral que se identifica en volcadura.

## Estabilidad lateral estática

De acuerdo con Junovich y Cebon la estabilidad lateral estática es una característica básica propia de los vehículos para llegar a provocar una volcadura, en este caso la aceleración lateral es necesaria para que se produzca la volcadura, la aceleración se expresa en términos de gravedad (g).

$$ELE = \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

Donde:

v = velocidad

R = Radio de la curva

Se describe como la inmunidad del vehículo la cual evita que se vuelque durante una vuelta, en estado estacionario o como la aceleración máxima antes de que el vehículo llegue a volcarse, (Luo, 2005). Cuando las llantas de un costado llegan a perder contacto con el pavimento con excepción del eje direccional el vuelco es inminente.

Existe un valor mínimo para el desempeño que es de 0.35, para medir el valor se somete el vehículo en una vuelta a alta velocidad en estado permanente se realiza a una velocidad de 100 km/h y el ángulo de dirección del volante incrementa a razón de 2° hasta alcanzar la volcadura en este momento se toma el valor de la aceleración lateral.

Esto da a notar que el límite de estabilidad en el balanceo es una propiedad crítica, cuando todas las llantas de un lado del vehículo se despegan del pavimento la aceleración lateral es igual o mayor al límite crítico de volcadura del vehículo, (Coleman & Sweatman, 2002).

## Cociente de la transferencia lateral de la carga (CTLC)

Se denomina como la alteración de los valores de la carga en las ruedas sobre el pavimento al realizar maniobras direccionales, se maneja en magnitud que proporciona una medida que da a conocer la tendencia a volcarse se muestra en la siguiente ecuación:

$$CTLC = \frac{F_{Zi} - F_{Zd}}{F_z} \quad (3)$$

Donde:

$F_{zi}$  = Suma de todas las fuerzas en las llantas del lado izquierdo.

$F_{zd}$  = Suma de las fuerzas del lado derecho.

$F_z$  = Suma de las fuerzas de las cargas sobre el pavimento.

Cuando uno de los extremos del vehículo pierde el contacto con la superficie quiere decir que las fuerzas sobre el pavimento se está concentrando en el otro extremo del vehículo así que el valor del CTLC se aproxima a la unidad lo cual provoca una volcadura, el valor máximo del CTLC es de 0.6.

La transferencia de carga de las llantas interiores hacia las exteriores evitan que los vehículos lleguen a volcarse, la efectividad de esta herramienta permite evaluar la estabilidad dinámica del vehículo, (Luo, 2005).

El cambio fraccional de carga entre los lados izquierdo y derecho durante la realización de una maniobra evasiva es otra manera de definir al CTLC denominado así por Billing. Esta medida señala qué tanto se acercó el vehículo a levantar todas las llantas de un lado

## Amplificación de la Zaga (AZ)

Se define como el cociente de la aceleración lateral en el centro de gravedad del semiremolque, la aceleración que existe en el punto correspondiente del tractor, la oscilación direccional produce mayor movimiento en la parte posterior del semiremolque que en el tractor. La amplificación de la zaga da a conocer la cantidad de espacio adicional del camino que es utilizado por el vehículo durante una maniobra evasiva, (Coleman & Sweatman, 2002).

Las perturbaciones direccionales rápidas son mayores en los últimos cuerpos vehiculares, respecto a aquella de los cuerpos del frente, dicha respuesta es mayor por aceleraciones y el desplazamiento es de mayor magnitud en unidades traseras. Un grado mayor de amplificación lleva a una mayor probabilidad de volcadura del remolque, (Luo, 2005).

### **2.4 Daños a pavimentos.**

El contacto que llegan a tener los ejes de los vehículos pesados con el pavimento es un punto importante ya que el daño que se genera a estos llega a ser imperceptible a corto plazo aun que con el paso de los años el daño se llega a apreciar considerablemente, los espacios entre sus ejes, el tipo de carga, las diferentes dimensiones de las cajas, los diferentes tipos de tractores, y las combinaciones vehiculares son un aspecto importante dentro del estudio de daño a pavimentos.

Las condiciones a las que se expone el pavimento son importantes para que su desgaste sea provocado, la dureza o flexibilidad también son importantes ya que esto facilita o complica el manejo en dicho camino, la temperatura es uno más de sus enemigos, el daño puede evitarse de alguna forma por medio del uso de concreto, por la mayor resistencia que éste proporciona aun que influye tanto la calidad como la forma de trabajarlo y colocarlo.

La suspensión es una parte importante en el tema de daño a pavimentos ya que esta nos ayuda de mayor o menor medida sobre el camino; por ejemplo la suspensión de aire es la más utilizada en la actualidad, la interacción que hay entre los neumáticos y el pavimento es fundamental para dañar el camino, se divide entre el número de ejes, el peso se distribuye sobre cada una de las ruedas estos a su vez en cada uno de los ejes y de estos a la quinta rueda. Una combinación que produzca menor daño al pavimento sufrirá un menor desgaste de sus neumáticos.

Con una buena combinación tanto de tractor como de semiremolque se ha llegado a la conclusión de que se tendrá una mejor relación con el camino, logrando un menor desgaste en el pavimento como en los neumáticos. Esto se dio a conocer mediante un modelo matemático que se hizo en base a la vibración producida por la dinámica del vehículo, se llevo a cabo en un tractor con dos ejes y un semiremolque de un eje aun que esto se puede adaptar a cualquier número de eje en el tractor semiremolque, las pruebas se realizaron en 40 diferentes combinaciones de tractores y semiremolques (Cebon, 2002).

En la experimentación se tomaron en cuenta cuatro características las cuales consistieron en el peso del vehículo, número de ejes, distancia entre ejes y contacto de neumáticos, se realizaron las pruebas en base a distintas velocidades y frecuencias, esto ayudo a determinar la estática en las fuerzas de los neumáticos.

Podemos ver las distintas combinaciones de tractores con sus semiremolques, y los daños ocasionados al camino por cada uno de ellos (Figura 5).

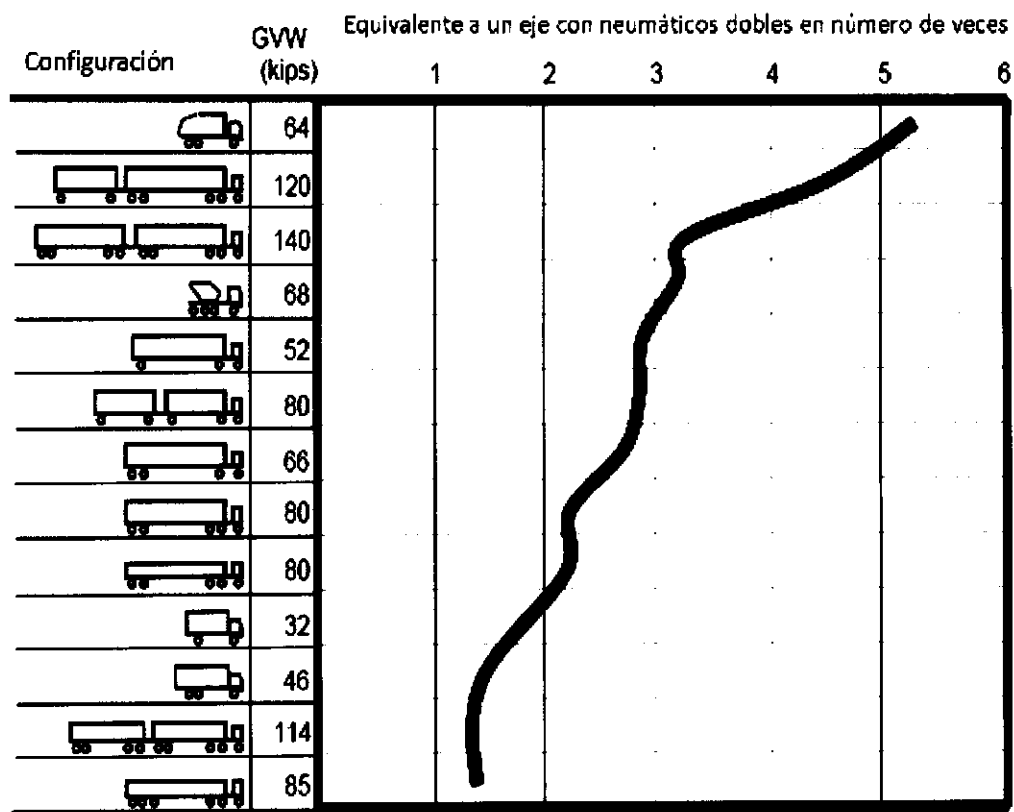


Figura 5, Diferentes combinaciones de tractore y semiremolques.

Teniendo resultados podemos entender que si se sobrepasa el nivel de resistencia en cualquier camino, comenzara la deformación del mismo, solo tendrá que transcurrir un cierto tiempo, para que esta se comience a mostrar, posteriormente cada pasada de vehículos y transcurrir más tiempo la resistencia será nula y el daño irreversible en el camino.

### **3 DISEÑO DE SEMIREMOLQUE EXPERIMENTAL.**

#### **3.1 Características dimensionales.**

Por razones de comodidad y debido al hecho de que conseguir un tractor tiene algunos inconvenientes, se llegó a la conclusión de realizar la experimentación en un prototipo a escala que equivale a 1:2.4, ya que se contaba con una pick-up marca Ford, modelo F150 con una dimensión de 5.25m de largo en contraste con un modelo real del tractor que cuenta con 8.20 m de largo.

Esta consideración ha sido definida también para el semiremolque con una dimensión de 7m de largo, que comprende del primer eje a la quinta rueda del semiremolque, en la figura 6 se muestra una comparación de las dimensiones.

Con ayuda de la pick-up y el semiremolque experimental, se realizarán las pruebas, con el fin de recopilar la información y de ser necesario realizar ajustes en el diseño.



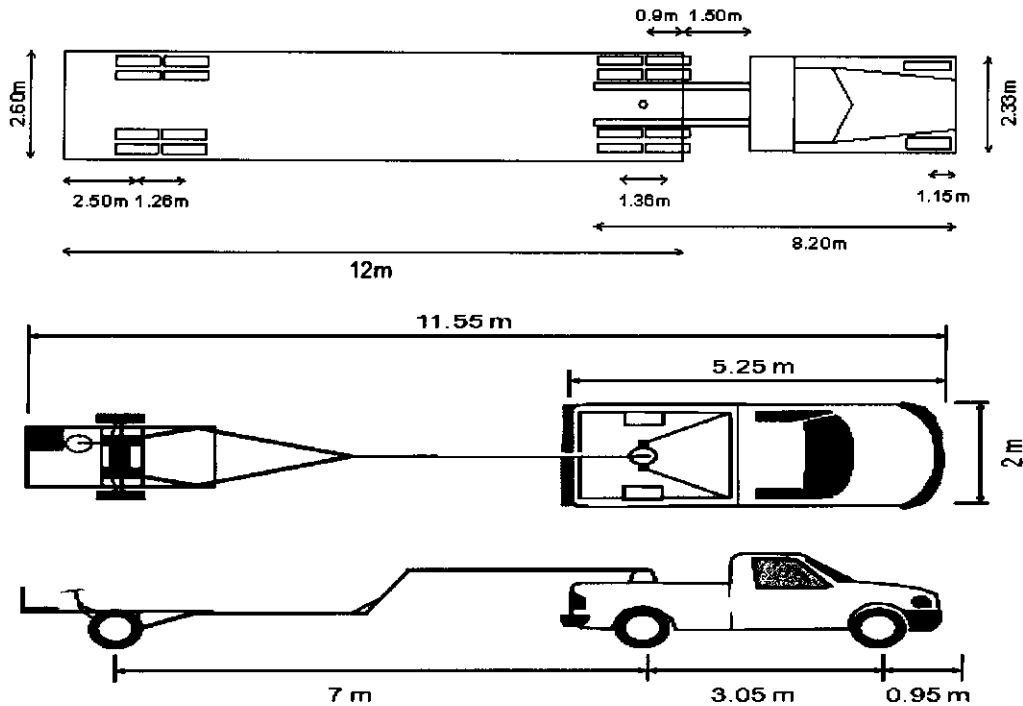


Figura 6. Comparación de las dimensiones entre un T3S2 y el semiremolque experimental (Bortoni 2007).

### 3.2 Diseño de copleé ajustable.

Estudios que fueron realizados con anterioridad, mencionan que al cambiar la posición de la quinta rueda se genera una diferencia en la maniobrabilidad, es decir la distancia que existe entre esta y el eje del tractor.

La medida de este parámetro se considera importante, ya que al adelantar o retrasar la posición de la articulación, el vehículo presenta una inestabilidad y poca maniobrabilidad a velocidades altas (Dahlberg, 2003), este diseño fue simulado en un modelo en base a una bicicleta.

En las maniobras propuestas, el diseño del semiremolque está elaborado para ajustar las dimensiones, por este hecho se propone realizar una serie de pruebas, que constan de modificar la distancia del anclaje entre la camioneta y el

semiremolque, esta variaría en una posición adelantada y atrasada a una distancia de medio metro con respecto a la posición original de la quinta rueda, esta medida es considerada pero es posible aumentar o disminuirla (Figura 7).

Las pruebas consisten en realizar cada una de las maniobras con las diferentes posiciones de la quinta rueda y poder determinar cuál de los resultados es el más apropiado para un mejor control del semiremolque.



Figura 7. Posición de las extensiones

### 3.3 Ajuste en la dimensión de semiremolque.

Algunas consideraciones en la longitud del semiremolque experimental, son dadas por características que se utilizan en los transportes de carga convencionales, entre las cuales están:

- Distancia máxima entre el eje de la quinta rueda y la parte trasera del semiremolque no podrá exceder de 12 m.

- Distancia entre la quinta rueda y un punto cualquiera en la parte delantera del semiremolque no podrá ser superior a 2,04 m.
- Distancia máxima entre el comienzo de la zona de carga y el final del remolque no podrá exceder de 16 m.
- La diferencia entre la distancia que separa el comienzo de la zona de carga y el final del remolque, menos la longitud que separa al vehículo del remolque no podrá ser superior a 15m.

El diseño del semiremolque está planeado tomar en cuenta estas propuestas, para modificar la batalla del mismo, el semiremolque lleva una extensión que puede variar al ajustar el anclaje ya sea como remolque o semiremolque, dependiendo las necesidades, esta escala puede variar desde 5m hasta 12m como máximo.

Como consecuencia de esta modificación el tipo de caja también varía con forma al largo de la batalla dependiendo del tipo de diseño, por tal motivo las dimensiones de las cajas varían en tamaño estas dimensiones se refieren en cuanto a lo largo (Figura 8).

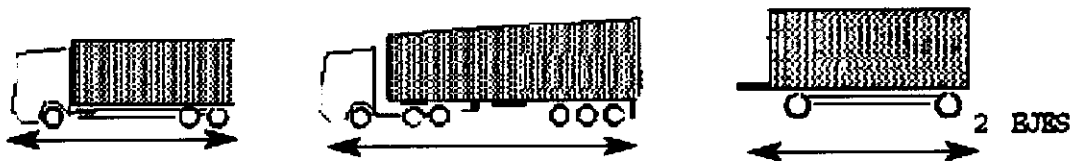


Figura 8. Tipos de cajas.

### 3.4 Control direccional en semiremolque.

El sistema de dirección que se está utilizando en las pruebas es como la de los vehículos convencionales manejan, se basa en que al girar el volante en uno u otro sentido también lo hace la columna de la dirección, unida al piñón, que gira con ella. El giro de este piñón produce el movimiento de la barra de cremallera hacia uno u otro lado, y mediante los soportes de articulación, unidos por unas

bielas a los brazos de acoplamiento de las ruedas (Figura 9), se consigue la orientación de estas.

En lugar de este mecanismo se pretende modificar el sistema sustituyendo el sinfín y el piñón.

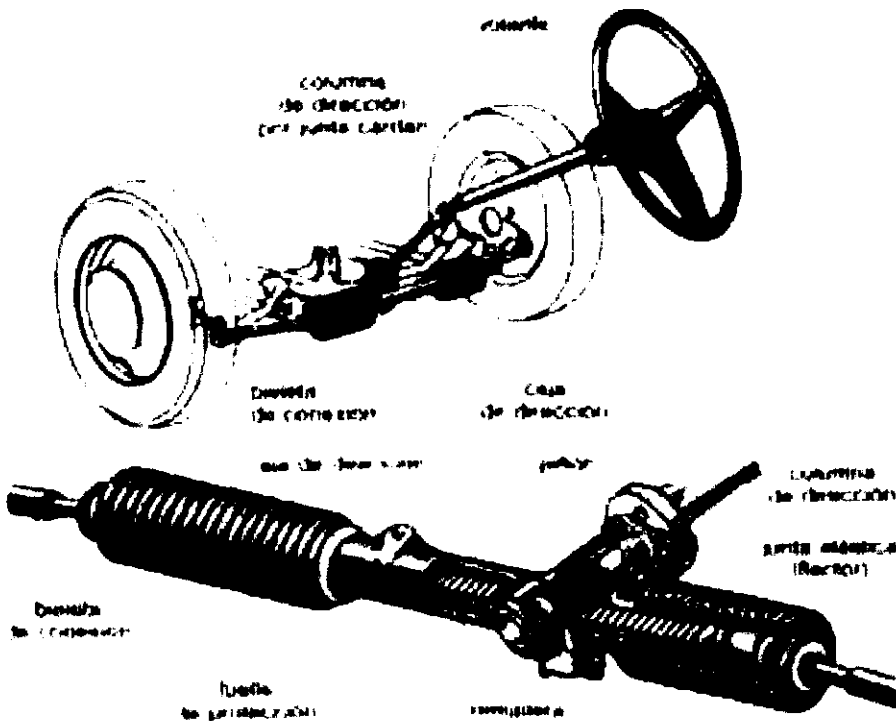


Figura 9. Esquema sistema de dirección.

Para la implementación del control direccional se pretende proponer un actuador el cual va a estar colocado en la parte superior del la estructura del semiremolque, esto tendrá la función de manipular la dirección del mismo, el actuador será controlado por medio del control difuso como retroalimentación entre el ángulo de dirección del tractor y el semiremolque esto para lograr el efecto de las pruebas.

En la implementación de la parte mecánica del semiremolque, se desea colocar un actuador de la marca Linak modelo LA12 que puede aplicar una fuerza máxima de

750 N. (Figura 10), esta es suficiente y por demás de la que se necesita para poder mover la dirección, el movimiento sólo será en posición horizontal (Figura 11), esto en base a que el volante junto con el sinfín se encargan de realizar este movimiento.



Figura10. Actuador Linak modelo LA12



Figura 11. Posición del actuador en el semiremolque.

Como se menciona para poder hacer la retroalimentación entre el actuador y el circuito se necesita la implementación del control difuso el cual consiste manipular el sistema de dirección, así como la tarea de ayudar equilibrar la características físicas del vehículo y en los diferentes tipos de camino que existen los cuales pueden ser complicados o estar en mal estado, en este tipo de estudio cualquier cambio o modificación pueden afectar la maniobrabilidad del mismo este necesita minimizar cada uno de esos factores para poder equilibrar el sistema.

Para la implementación del control difuso se necesita definir los objetivos y los criterios a controlar, en el semiremolque es considerado el ángulo de dirección del mismo con respecto al del vehículo.

El ángulo de articulación del vehículo se define como una entrada, considerando la relación que existe entre las entradas y salidas, la señal que envía el sensor ubicado en los neumáticos se maneja como salida que está contemplada en el sistema, la velocidad es un factor importante ya que a alta velocidad el sistema se considera no utilizable, debido a que en estas circunstancias el ángulo de articulación es mínimo y no presenta ningún cambio significativo.

En el sistema se considera la implementación gráfica de la magnitud de cada entrada, para definir las operaciones a realizar, que son planteadas en forma de variables, el ángulo en la articulación es asociado a cada una de las entradas que genera una influencia en el sistema, el cual se encarga de las señales de entrada que coinciden y las señales de salida.

Las respuestas son analizadas en el sistema de control en cada una de las salidas, para el análisis de la velocidad del vehículo fueron definidos, el sistema actual a velocidades menores de 20 Km/h en tanto que a velocidades medias altas se manejan curvas de control y con velocidades superiores a 60Km/h el sistema se desactiva, por así decirlo porque ya no considera cambios en el ángulo del vehículo (Bortoni, 2008).

La velocidad es un gran factor para la implementación en el control difuso, ya que el sistema mecánico que se pretende llevar a cabo en los neumáticos del semiremolque, que sólo se contempla para baja velocidad, el control está diseñado para actuar a velocidades menores a 20 Km/h de forma inmediata, conforme la velocidad aumente la respuesta del sistema mecánico disminuirá la acción de corrección.

La razón de esta consideración se debe a que al seguir la corrección con forme la velocidad aumenta, corre el riesgo de perder estabilidad en el vehículo. Este fundamento aun no ha sido comprobado ya que sería muy peligroso realizar las pruebas en este tipo de condiciones.

Mediante la creación de software, el control difuso desarrolla las estrategias en el sistema. A continuación se muestra un diagrama de bloque que explica la lógica para la implementación del sistema difuso (Figura 12).

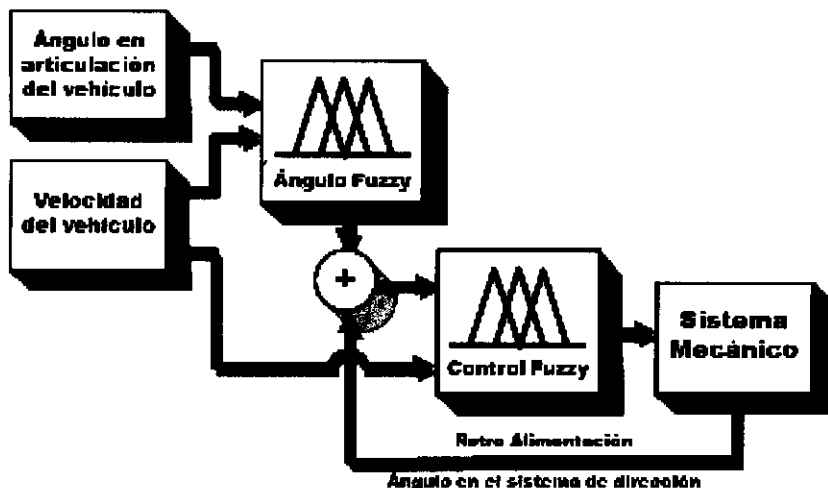


Figura12. Diagrama de bloques del control mediante lógica difusa (Bortoni, 2007).

### 3.5 Mejoras al diseño.

Se desea mejorar el diseño del semiremolque experimental para que nuestro prototipo se asemeje a la realidad, con el propósito de comprobar cuanta maniobrabilidad se pierde o se gana con las modificaciones.

Las propuestas que se consideran son aumentar a un segundo eje, el cual se desea diseñar en forma retráctil y a su vez este también ser direccional, sólo que se necesitan hacer las pruebas, ya que al tener más de un eje con dirección se modifica la cantidad de movimiento de cada uno, porque, el primero tendría un grado de movilidad mayor al del otro, así mismo se pretende colocar llantas duales y esto limitaría el movimiento por las dimensiones que ocupa, si es que uno de ellos no tuviera dirección.

La propuesta para la unión de los neumáticos duales se quiere realizar por medio de un rin externo, el primer neumático estará unido al eje principal, el segundo rin tendrá la función de unir los dos neumáticos dejando un espacio entre ellos para evitar la fricción en los neumáticos (Figura 13), la mejor opción sería colocar la estructura original que se utiliza en los remolques, el inconveniente de este se debe a que son de difícil acceso por sus dimensiones y un poco más complicada su elaboración para este tipo de semiremolque.

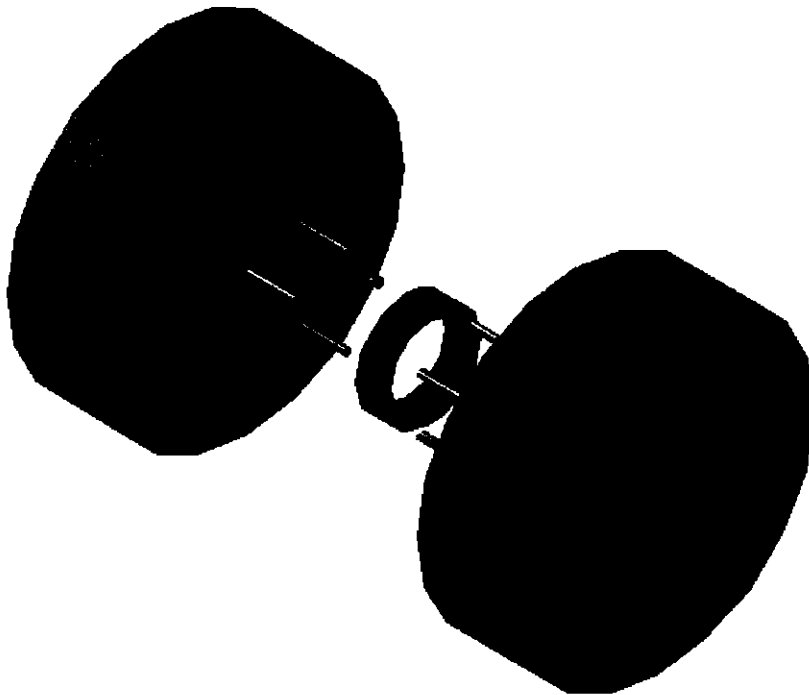


Figura13. Diseño de neumáticos duales.



Por esto mismo se desea realizar las pruebas correspondientes para comprobar cuál es la combinación adecuada para una buena maniobrabilidad. Se desea ajustar el centro de gravedad, en algunas ocasiones puede influir en la probabilidad de vuelco, porque el centro de gravedad en la mayoría de los semiremolque se rige por el volumen de la carga, aun no siendo de gran peso, en este caso su centro de gravedad se aleja del pavimento y tiene probabilidad de perder el equilibrio (Aparicio, 1995).

Las pruebas que se realicen podrían darnos a conocer cuál es la combinación entre velocidad y carga que sea adecuada para una mejor maniobrabilidad del semiremolque.

En la Figura 14 el diseño del semiremolque, muestra el prototipo final, para comprobar la influencia de las modificaciones, en las pruebas correspondientes, aun que por el momento solo se considera para estudios futuros.

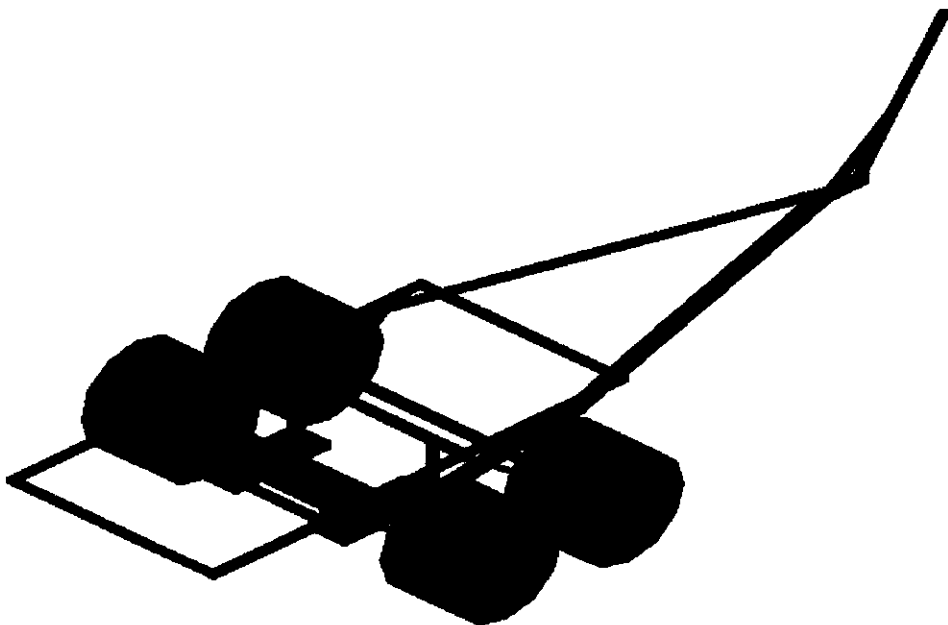


Figura 14. Diseño de Semiremolque experimental

#### 4 INSTRUMENTACIÓN.

Para la instrumentación de este vehículo se realizaron 4 instrumentaciones previas con combinaciones diferentes, la primera de ellas se realizó en una pick up y remolque propiedad del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el cual se instrumentó con tres receptores GPS y una versión anterior a la tarjeta de adquisición de datos que actualmente se utiliza CODIPA2, (Figura 15)

El segundo vehículo instrumentado fue un T3S2R4 y un T3S2 con ayuda de un receptor GPS y la tarjeta CODIPA, estos vehículos se realizaron en empresas privadas (Figura 16 y 17), con esto se llegó a la conclusión de que el primer sistema de adquisición de datos presentaba algunas limitaciones para el procesamiento de datos, algunas de estas deficiencias fueron la falta de información para la captura de las señales provenientes del ángulo direccional del tractor y la medición del doble remolque para poder medir ambos puntos de articulación.



Figura 15 - Camioneta – remolque instrumentado (Bortoni 2006).

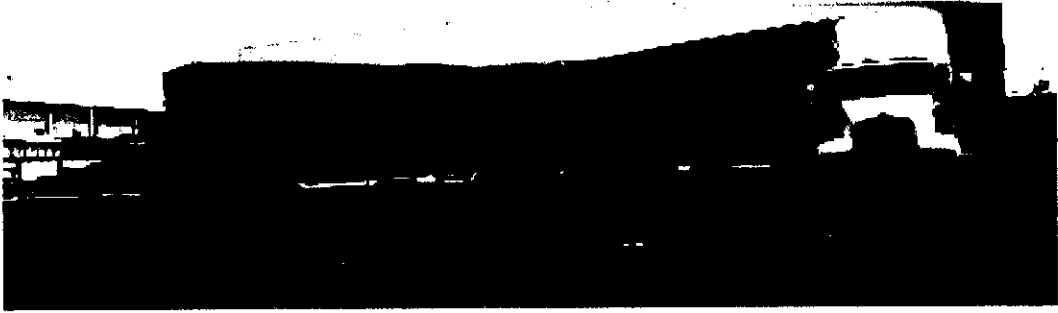


Figura 16 - Vehículo T3S2R4 (Bortoni 2006).



Figura 17 - Vehículo T3S2 (Bortoni 2006).

El último modelo antes del prototipo del semiremolque experimental fue en un vehículo T3S2 (Figura 18), se realizaron pruebas con el equipo CODIPA2 facilitado por una transportadora, así mismo la mayoría de las pruebas se realizó dentro de las instalaciones de la misma empresa.

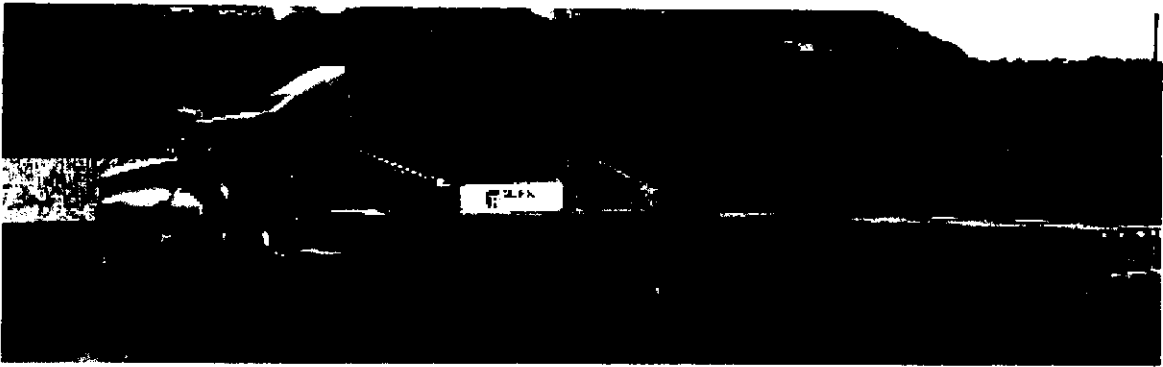


Figura 18 - Vehículo T3S2 con semiremolque tipo cama baja (Bortoni 2007).

La tarjeta de adquisición de datos fue elaborada para una conexión de puerto paralelo, esto limitaba la conexión a una computadora, que contará con este tipo de entrada, por ser de tipo paralelo, se necesitaba una computadora con Windows 98, la demanda de energía del sistema era alta y el receptor GPS utiliza una conexión USB y Windows XP.

En base al problema en la compatibilidad entre los dos equipos, la adquisición de datos, además del disponer de un mayor número de canales de entrada, se decidió crear la tarjeta de datos con una conexión USB el nombre de la tarjeta es CODIPA2, la cual fue empleada para la instrumentación de un vehículo T3S2 que pertenece a la transportadora Egoba.

Para la elaboración de las pruebas se llevo a cabo la preparación, calibración y montaje de los instrumentos, con ayuda del Convertidor Digital de Posición Angular (CODIPA 2), en este caso se registraron los valores angulares en la dirección del vehículo, el ángulo en la articulación y la dirección del eje del semiremolque.

Los parámetros que se consideraron para la instrumentación de la camioneta fueron, el ángulo de dirección, ángulo de articulación entre la camioneta y el

semiremolque, aceleración lateral, aceleración de giro, aceleración vertical, inclinación, posicionamiento global y velocidad del vehículo.

En el caso del semiremolque se considera el ángulo en la dirección, velocidad, aceleración lateral e inclinación.

El desempeño de los resultados fue determinado por el peso del vehículo, dimensiones y propiedades mecánicas de las ruedas, suspensión y marco del vehículo, peso distribuido entre ejes, (Sampson, 2000).

#### **4.1 Sensores utilizados.**

Los sensores proporcionados por el IMT (Instituto Mexicano del Transporte), se utilizaron como método de comprobación, estos fueron colocados dentro de la camioneta y en el semiremolque, los sensores miden velocidad y aceleración; los instrumentos utilizados tienen una sola dirección o un plano de dirección.

A continuación se describe el tipo de sensores que se utilizaron para las mediciones de ángulo de desfase del semiremolque con respecto al ángulo de la camioneta y la trayectoria de la misma, una parte de la instrumentación se realizó con la colaboración del IMT.

##### **4.1.1 Posición angular.**

El sistema usa un potenciómetro rotatorio, como transductor de posición angular de la marca Vishay tipo 157-11103 Spectral de 10 KW con una alimentación de 5 volts (Figura 19), el puerto USB de la computadora y la posición angular, generan una variación de voltaje que posteriormente es convertida a un valor digital de 8 bits en la tarjeta de captura. Su rango de operación es de  $340^{\circ} \pm 4^{\circ}$ , con un error de repetitividad menor al 0.01% del voltaje de referencia (Bortoni, 2007).



Figura 19. Potenciometro

La variación está dada en una referencia de voltaje proporcionada por la tarjeta CODIPA, el potenciómetro contenido en un soporte alineado con el King-pin con una sensibilidad de  $0.6^\circ$  tiene como propósito medir el ángulo de dirección y desplazamiento rotacional de la articulación en el vehículo.

#### **4.1.2 Sensor de dirección en el eje del semiremolque.**

El sensor de dirección, es uno de los factores más importantes a considerar para el estudio del comportamiento en el semiremolque, esto nos permite saber la dirección de los neumáticos en las pruebas, no importando si la dirección sea fija o móvil, se puede identificar los ángulos a los que se mueve el neumático.

El mecanismo de dirección se efectúa con ayuda de una volante y un individuo, él cual tiene la función de modificar la dirección de las ruedas para la corrección de los ángulos, pero el planteamiento del sistema nuevo pretende accionarlo de manera electrónica por medio de un actuador y con ayuda de este sensor (Figura 20).



Figura 20. Sensor de ángulo de dirección colocado en el neumático del semiremolque

#### **4.1.3 Sensor de articulación.**

Para la medición del ángulo que existe entre la camioneta y el semiremolque se utilizó un potenciómetro rotatorio, este se colocó en la estructura de la quinta rueda (Figura 21), el sensor se encarga de medir las variaciones de los ángulos, para determinar cuál es la diferencia que existe entre una dirección fija y una móvil, es posible medir la desviación que existe entre estas dos experimentaciones y así poder comprender la importancia de esta adaptación en un sistema a escala real.



Figura 21. Sensor en el ángulo de articulación.

#### **4.1.4 Sensor de velocidad.**

Se instaló un generador de pulso a un costado de los ejes, estos sensores consisten en un opto-switch y rueda dentada. Este genera 24 pulsos durante una vuelta completa.

#### **4.1.5 Acelerómetro.**

El acelerómetro es uno de los transductores más versátiles, siendo el más común el piezoeléctrico por compresión. Este se basa en el principio de que al comprimir un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Los elementos piezoeléctricos están hechos normalmente de circonato de plomo, que se encuentran comprimidos por una masa, sujeta al otro lado por un muelle y todo el conjunto dentro de una caja metálica.



Cuando el disco piezoeléctrico del giroscopio es sometido a una fuerza variable, este genera una aceleración que desarrolla un potencial variable proporcional a la aceleración, esto se puede medir con un voltímetro u osciloscopio. Se puede usar para la medida de velocidad y desplazamiento.

El dispositivo junto con los circuitos eléctricos asociados se puede usar para la medida de velocidad y desplazamiento, además de la determinación de formas de onda y frecuencia. Una de las ventajas principales de este tipo de transductor es que se puede hacer tan pequeño que su influencia sea despreciable sobre el dispositivo vibrador. El intervalo de frecuencia típica es de 2 Hz a 10 KHz.

Los acelerómetros electrónicos son fabricados para medir la aceleración en una, dos ó tres dimensiones, de manera que sea posible medir la aceleración en cada eje. Esta característica permite evaluar la inclinación de un cuerpo, puesto que es posible determinar con el acelerómetro la componente de la aceleración provocada por la gravedad que actúa sobre el cuerpo.

Un acelerómetro también es usado para determinar la posición de un cuerpo, pues, al conocer su aceleración en todo momento, es posible calcular los desplazamientos que tuvo.

En el semiremolque se colocaron tres acelerómetros de la marca Systron Donner International Division con número de serie AQR S- 00064-109 SN: 00112221910, 1911 y 1912, también un acelerómetro de la marca Crossbow con número de serie CXL02LF3, (Figura 22), el cual monitorea la velocidad triaxial y cambios de aceleración constante. Estos se conectaron a una PC para su posterior interpretación.

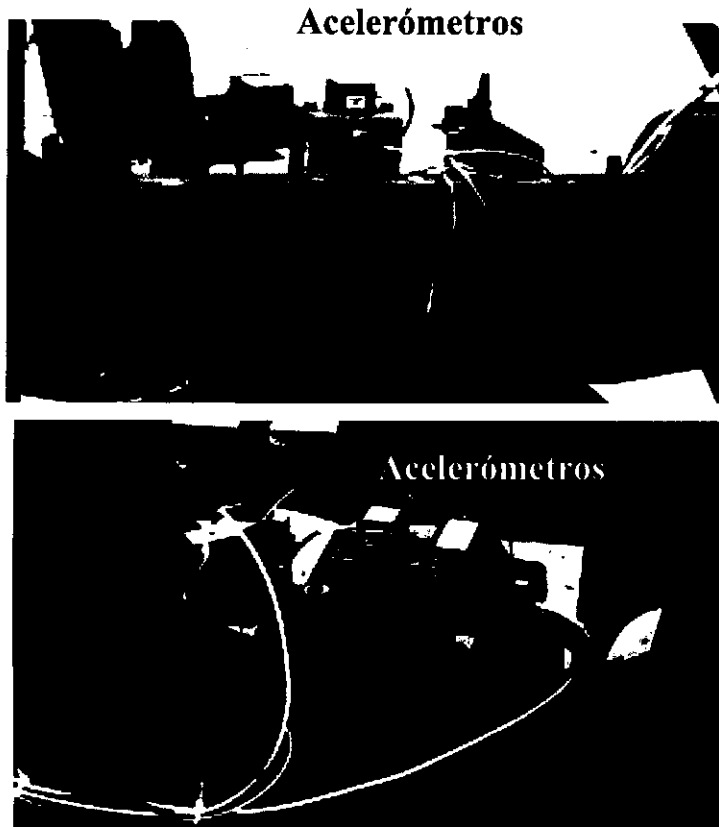


Figura 22. Posición de los acelerómetros en el semiremolque.

#### 4.1.6 Giroscopio.

El giroscopio o giróscopo es un dispositivo mecánico formado por un cuerpo con simetría de rotación, que gira alrededor de su eje de simetría, cuando se somete a un momento de fuerza que tiende a cambiar la orientación del eje de rotación, él dispositivo cambia en una dirección perpendicular a la dirección "intuitiva".

El movimiento del giroscopio presenta dos movimientos denominados precesión y nutación. La velocidad de precesión se mide en radianes/segundo, en un giroscopio los momentos parásitos tienen mucho menos efecto a largo plazo que en un objeto sin rotación.

Cuando el momento que causa la precesión cambia de valor, la velocidad de precesión también cambia de valor. Hay un periodo de transición durante el cual el giroscopio "cede" un poquito al momento, en la misma dirección que un objeto que no gira. Después el giroscopio recobra lo que había cedido, oscilando en la dirección del momento, alrededor del movimiento de oscilación transitorio, a esto se le llama nutación.

Se colocó un giroscopio en el interior de la camioneta marca Crossbow con número de serie V6700AA-201, Port No. 8350-0074-01, Series B; 01; utiliza una unidad de medición inercial que descompone el movimiento en sus componentes y todas sus características cinemáticas de desplazamiento, velocidad y aceleración (Figura 23).

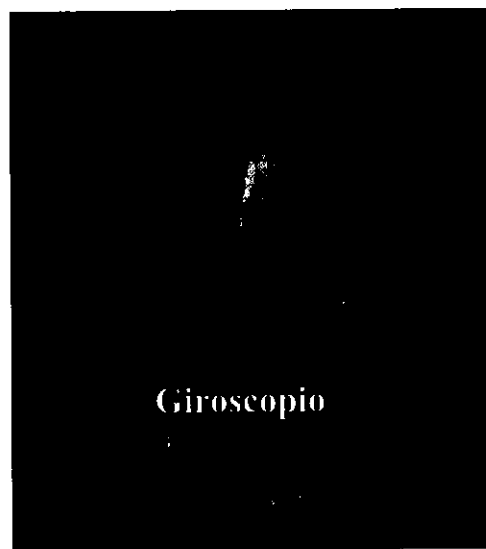


Figura 23. Giroscopio en el interior de la camioneta

#### **4.1.7 GPS.**

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS (Global Positioning System) por sus siglas en inglés, permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando

GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20,200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición (altitud, latitud y longitud) en una coordinación geocéntrica del sistema y el reloj de cada uno de ellos.

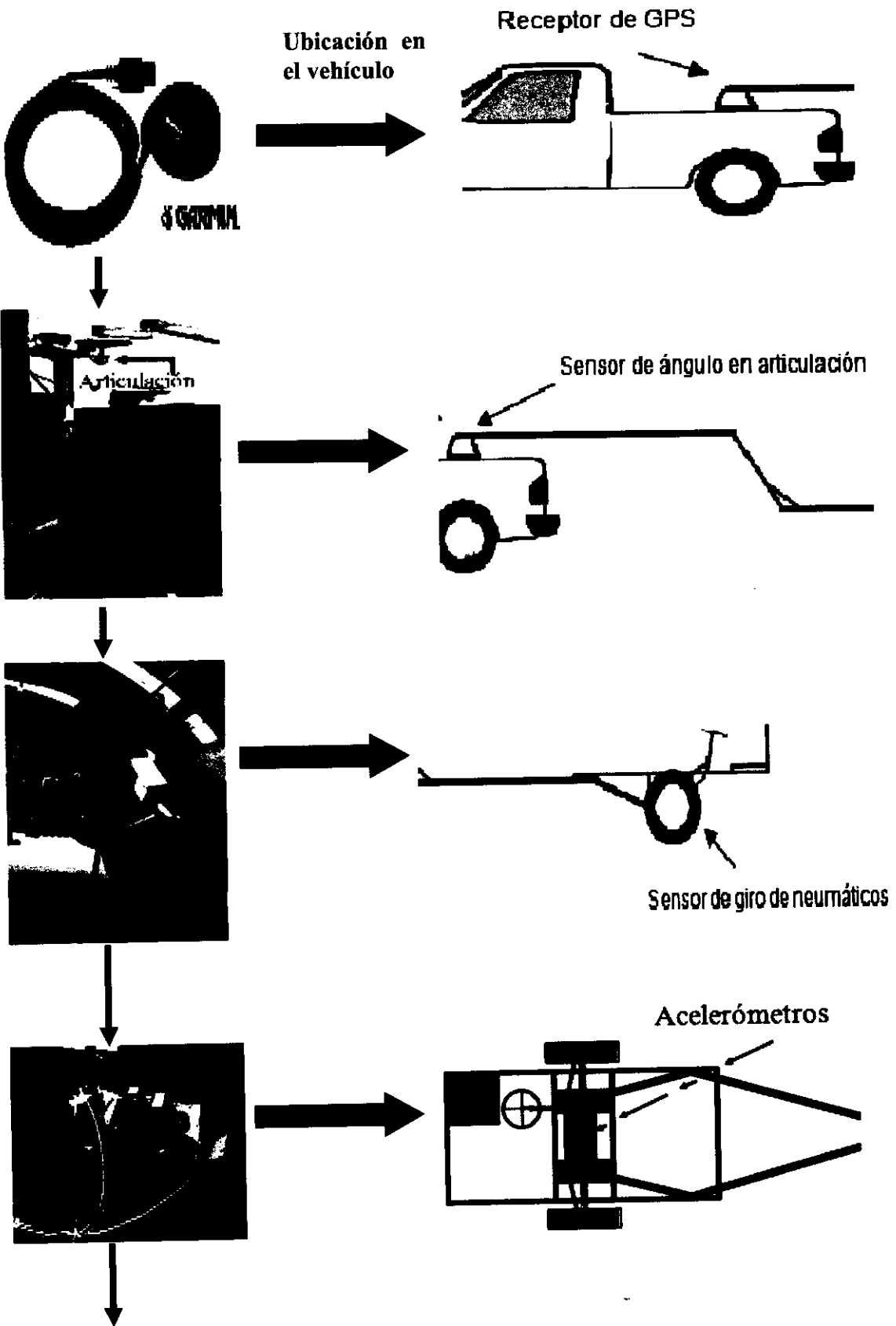
Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula la distancia al satélite.

El instrumento que se utilizó para el posicionamiento del vehículo fue el modulo GPS, es una antena de la marca Garmin, GPS18 con conexión directa al puerto USB. Esta antena cuenta con 12 receptores integrados en una construcción compacta, el sistema tiene una velocidad de operación de 2 Hz, (Figura 24)



Figura 24. Receptor Garmin GPS 18 (Garmin).

En la figura 25 se muestra la disposición de los instrumentos en el interior de la pick-up y el semirremolque, así como la interface que se utilizo para la adquisición de los datos.



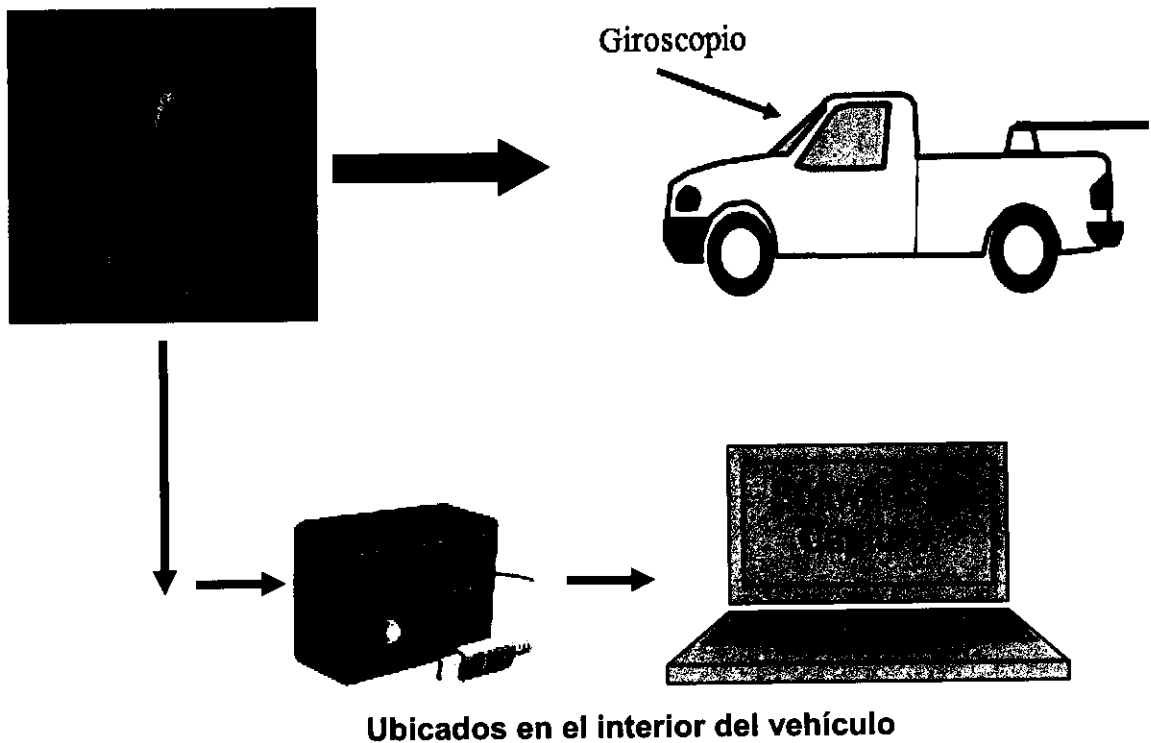


Figura 25. Diagrama de bloques, posición de los instrumentos utilizados.

## 4.2 Captura de señales.

### 4.2.1 CODIPA 2.

La primera tarjeta de adquisición de datos CODIPA fue elaborada para una conexión de puerto paralelo, lo cual limitaba la conexión a una computadora que contara con este tipo de entrada, por ser de tipo paralelo se necesitaba una computadora con Windows 98, la demanda de energía del sistema era alta y el receptor GPS utiliza una conexión USB y Windows XP.

En la tarjeta CODIPA 2, se utiliza el micro-controlador CMOS PIC16C745 de Microchip, que cuenta con interface para puerto USB. Dispone de 5 canales de 8 bits que pueden ser configurados como entrada o salida; en este caso se programaron cuatro entradas analógicas y cuatro digitales (Figura 26).

Se optó por el uso de conexiones a través de conectores tipo RCA para los sensores debido a su sencillez y confianza, además de la facilidad de fabricación de extensiones (Bortoni, 2007).

Esta tarjeta fue diseñada para evitar utilizar dos computadoras con sistema operativo y características físicas diferentes, la tarjeta logró evitar la pérdida de energía debido a que los dos sistemas pueden ser alimentados con los 5 volts de la computadora.

Los datos generados por los sensores utilizados en la articulación y el transductor de ángulo de dirección, fueron adquiridos con el sistema CODIPA, 2 para después ser procesados con el software de captura.

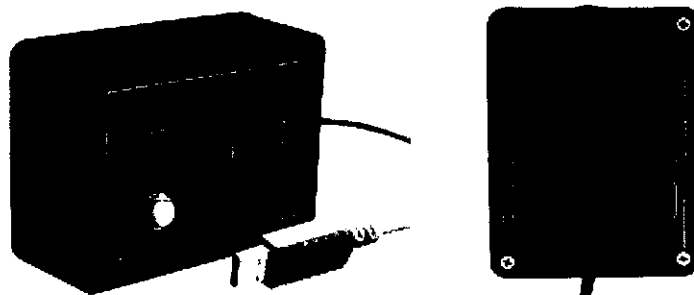


Figura 26. Tarjeta de adquisición de datos

#### 4.2.2 GPS.

El sistema GPS tiene un sistema de captura propio el cual utiliza una conexión USB la comunicación es por medio de una laptop, la información es almacenada por el software de captura que pertenece al sistema GPS que se localiza en la parte superior de la quinta rueda o ángulo de dirección (Figura 27).

Para sincronizar todas las señales que se recolectaron en cada una de las experimentaciones, se colocó un interruptor, que da un pulsó, al revisar los datos

se puede saber en qué momento se empieza a medir al mismo tiempo y con el GPS podemos determinar donde comenzó la trayectoria.

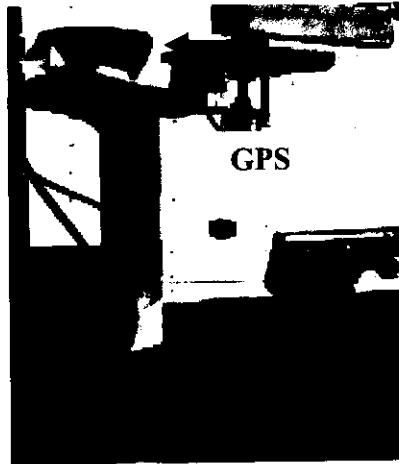


Figura 27. Posición del GPS

#### **4.3 Acondicionamiento de señales.**

Para interpretar los resultados de las pruebas, es necesario cambiar los valores que se reciben de las entradas en la tarjeta de captura, por medio del software, las entradas manejan una escala que van desde el 0 hasta los 255.

Para el sensor colocado en la articulación entre el semiremolque y la camioneta los valores son divididos entre  $180^\circ$ , esta consideración se maneja para el ángulo de las ruedas, sólo que los grados en los que se divide son menores.

Para la calibración de los sensores, se llevo a cabo con un transportador, como herramienta física, para la medición de los ángulos, en la quinta rueda y el programa de captura USB-CAP, utilizado en las señales que generan los potenciómetros, fue necesario variar el rango de movimiento, considerando una zona en la que no existía variación en la lectura, esto con el fin de conocer qué área de trabajo, se van a considerar las mediciones, en cuanto a las señales



variables se procedió a realizar la correlación del valor angular con respecto al voltaje.

Después de la correlación que se realiza, se procede a promediar todos los valores que ocurren en cada decima de segundo y se convierten en el valor que le corresponde.

La señal que genera el GPS es de dos registros por segundo, esto se utiliza para el tratamiento de señales en la información disponible, para velocidades menores a 20 Km/h esta frecuencia es óptima, aunque para velocidades mayores el sistema tiene poca precisión.

Una opción es utilizar un equipo con una velocidad mayor de adquisición de datos, este tipo de instrumentos existe en el mercado y está disponible, aun que uno de sus inconvenientes, es que el costo es muy elevado. Por tal motivo se decidió emplear un método de interpolación que permite incrementar el número de puntos de referencia el cual se incremento hasta 10 registros por segundo con un margen de error, aun así en esta parte de la experimentación no es necesario ser cien por ciento preciso.

Se realiza una base de datos para almacenar el registro, en base al registro de tiempo, esto se logra mediante una sincronización de los registros, que genera el GPS, los valores interpolados y los que provienen del software USB-CAP, al finalizar el proceso se hace una revisión de los datos y se procede a analizar los resultados de forma individual.

## **4.4 Software de captura.**

### **4.4.1 USB-CAP.**

La adquisición de datos se lleva a cabo por medio de un programa llamado USB-CAP realizado en Visual Studio.Net, se encarga de recibir las señales de los sensores en ángulos, que son medidos en la articulación del vehículo, la dirección del semiremolque y en la quinta rueda los cuales provienen desde la tarjeta de captura, para lograr activar la tarjeta es necesario utilizar un controlador, en este caso se desarrollo uno específico para el dispositivo, llamado mCHID.dll.

El programa USB-CAP genera automáticamente los nombres de los archivos con el día y la hora, para facilitar su interpretación es necesario que el usuario le de la señal de inicio, para comenzar a capturar los datos.

La velocidad a la que se maneja la información es demasiado alta ya que llega a generar 26, 000 lecturas por segundo y en la aplicación que se utiliza es mucha información, para procesar se incorporo un control de velocidad de diez posiciones, él cual reduce el número de lecturas hasta 2,600 por segundo (L. Bortoni & M. Pavon, 2006), con la reducción la captura de los datos es más fácil de interpretar. Los sensores fueron calibrados antes de su instalación y verificados en el vehículo al finalizar las pruebas después de un esfuerzo físico durante las maniobras.

A continuación se muestra la apariencia física del programa USB-CAP (Figura 28).

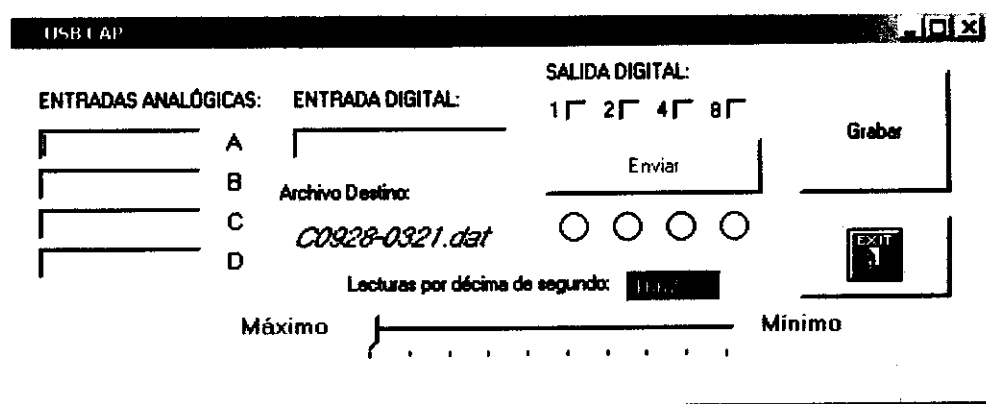


Figura 28. Programa USB-CAP (Bortoni, 2007).

En el almacenamiento de los registros que genera el programa, es necesario un gran espacio libre de memoria en la computadora, ya que la capacidad máxima que ocupa es de 50 Mb por minuto sin embargo el software de captura sólo utiliza 400 Kb por tal motivo, es recomendable liberar espacio en el equipo que se pretenda utilizar para esta actividad.

Para lograr una compatibilidad ente el programa y la tarjeta se necesita que los códigos de identificación, que fueron programados en el micro procesador coincidan con el driver HID., la tarjeta sólo es compatible con estos programas, esto nos da la facilidad de manipular varios dispositivos de manera simultánea sin que uno interfiera con el otro (s).

Debido a que la programación de estos lenguajes es orientada a objetos fue necesario desarrollarlos en Visual Studio. Net 2005 de Microsoft además de ser un entorno más amigable para cualquier usuario.

En la Figura 29 se muestra los programas de adquisición de datos, que fueron utilizados en las pruebas.

## Receptor de GPS

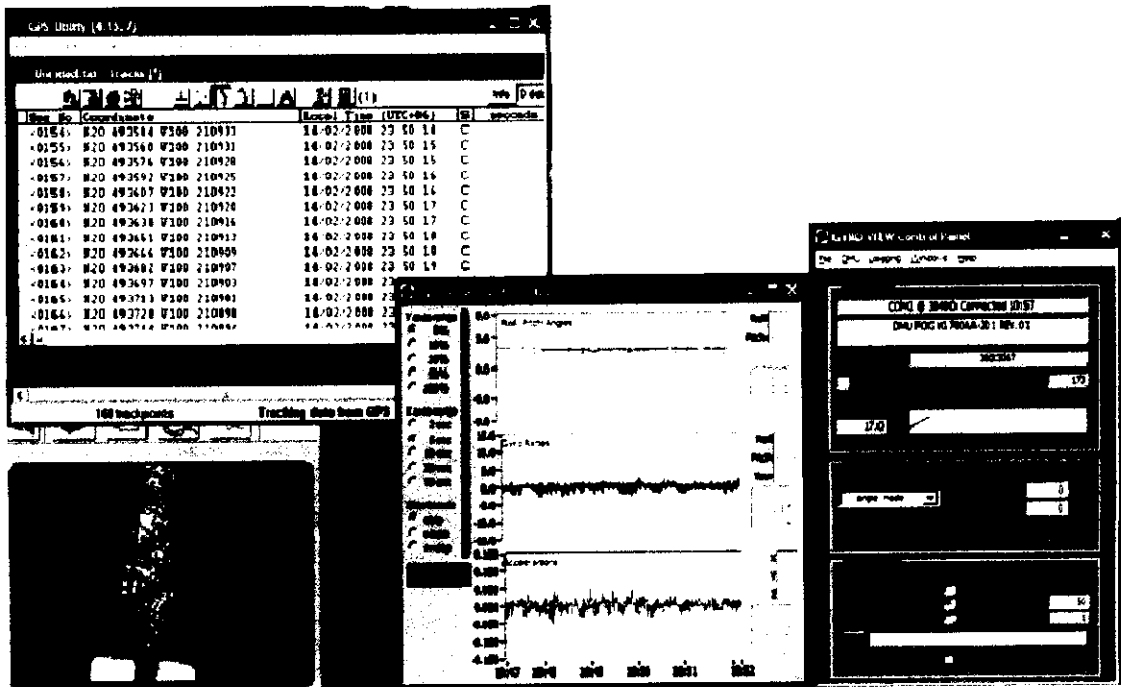


Imagen de video-guía

Giroscopio y acelerómetros triaxiales en el tractor

Figura 29. Programas de adquisición de datos

### 4.4.2 Gyro-View.

El giroscopio utilizado en las pruebas del semiremolque experimental, graba las señales, este se encuentra instalado en la camioneta, maneja su propio sistema de captura, llamado gyro-view de National Instruments, fue diseñado en el entorno de LabVIEW él cual registra las señales que provienen de los acelerómetros, inclinómetros, velocidad en la quinta rueda y el ángulo en la dirección de la camioneta (Bortoni, 2008).

El lenguaje que utiliza es llamado lenguaje G, LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación (Figura 30).



Figura 30. Programa LabView y la señal de los acelerómetros e inclinómetros (Bortoni, 2008).

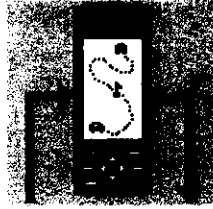
Los programas se realizaron en dos equipos diferentes, este es el motivo por el que se implementó en ambos equipos, un interruptor de sincronía para la correlación de los registros.

#### 4.4.3 GPS Utility.

En software de captura se encarga de registrar la trayectoria del vehículo a través del receptor del GPS, para interpolación en orden de registro de la trayectoria especialmente a alta velocidad fue necesario realizar un programa, en este caso el programa está basado en la interpolación polinomial de Lagrange, incrementa el rango de 2 a 10Hz, (Bortoni, Herrera, Castañeda & Martínez, 2007).

La mayoría de los programas que utilizan el GPS se utilizan como una ayuda para operarlos en los sistemas de navegación. El software que se decidió utilizar fue el

GPS Utility en su versión 4.15.7, (Figura 31), por la capacidad de generar los mapas de trayectorias y su manejo de datos.



**GPS Utility**

**Version 4.15.7**

Figura 31. Programa de captura de señal de GPS (GPS Utility).

Una de las cualidades de este programa es que cuenta con una capacidad de operación en tiempo real, esto se considera lo más conveniente, ya que para el receptor es la mejor opción (Garmin USB 18), para los algoritmos de corrección de errores y la sincronización en las lecturas de los mapas digitales, este programa también incluye una gran accesibilidad en su configuración y el ajuste en la información.

El programa calcula la dirección y velocidad a partir de los valores de longitud y latitud leídos desde el receptor (Figura 32).

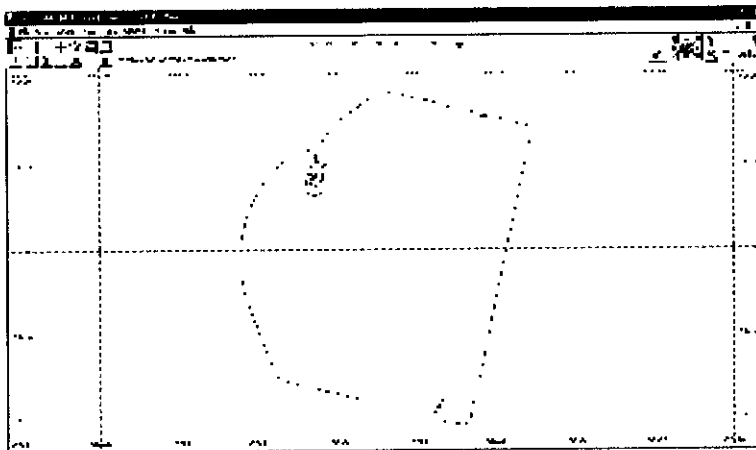


Figura 32. Vista de trayectoria en el programa GPS Utility (Bortoni, 2007)

## **5 DISEÑO DE PRUEBAS.**

Para la evaluación de los resultados se eligieron dos de las maniobras más representativas, las cuales son, giro estacionario y el giro transitorio, aun que en la experimentación también se consideró otra llamada slalom la cual consta de una serie de giros transitorios, sólo que a una velocidad superior a la de las otras maniobras.

Las dos maniobras se llevaron a cabo en círculos con un radio de 11.25, 9.5 y 8 metros en sentido horario y anti horario, ambos con dirección fija y móvil en el semiremolque, también se modificó la distancia del coplee entre la camioneta y el semiremolque. Para la maniobra denominada Slalom los obstáculos fueron colocados a 15 y 10 metros.

En total se realizaron 94 diferentes maniobras, en las cuales se consideraron cada una de las variantes, en cada una de las tres pruebas, que fueron realizadas en las instalaciones del IMT.

### **5.1 Maniobra de Giro Estacionario.**

La maniobra del giro estacionario se lleva a cabo cuando el vehículo sigue una trayectoria y velocidad constante formando un círculo en el cual debe de permanecer mientras la dirección y velocidad sea constante (Figura 33).

Conocer el despiste máximo que presenta el semiremolque en la maniobra del giro estacionario en conducción normal hacia adelante, se considera el objetivo principal en esta maniobra.

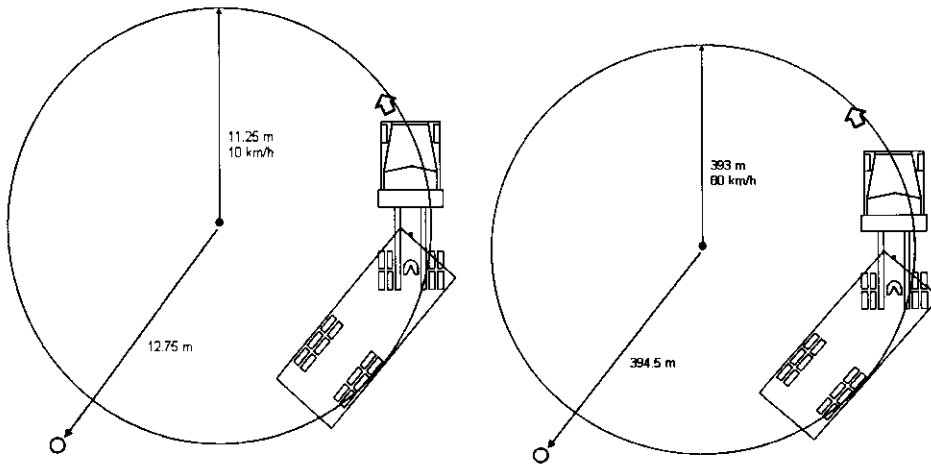


Figura 33 - Giro estacionario en baja y alta velocidad (Bortoni, 2006).

Para la dimensión del tracto camión y el semiremolque, el ángulo de configuración adoptado durante la trayectoria circular de 8m, el radio más pequeño fue negociado, cuando uno de 6m fue intentado (el mínimo que el vehículo siguió, debido a los mecanismos que lo llevaron a cabo), el vehículo adopto una condición de Jack knife conocido también como efecto de tijera.

La figura 34, muestra los resultados obtenidos en las maniobras del giro estacionario, debido a que los efectos entre la maniobra realizada a lado derecho e izquierdo fueron similares, solo la mitad de estos fueron incluidos.

$r_p$ [m]	$\delta_r$ [°]	$\delta_a$ [°]	$\delta_r$ [°]	$OT_e$ [m]	$T_w$ [m]
8.0					
	26	65	14	3.29	4.96
9.5					
	23	36	10	0.37	2.30
11.25					
	20	28	4	0	1.65

Figura 34. Resultados de la prueba, giro en estado estacionario.



\*Máximo desplazamiento angular permitido. \*\*Despiste direccional en línea recta.

Como se puede ver en la figura 34, un radio pequeño produce un gran despiste en ambas configuraciones del eje del semiremolque: fijo y móvil. No obstante, por cada radio que use el eje direccional, este produce un pequeño despiste, nulo para la maniobra en el círculo de 11.25 metros de radio. Con el eje móvil el resultado en la articulación del ángulo, es pequeño. Del mismo modo el ancho de la curva en el camino, fue reducido cuando usamos el eje direccional en un 60% arriba del correspondiente (Figura 35).

Manejando libremente, girando a la derecha o a la izquierda puede resultar diferentes valores, debido a la percepción de los conductores. Sin embargo estas pruebas de maniobrabilidad no son afectadas por la percepción del conductor debido a que el vehículo es forzado a seguir un camino definido en cualquiera de las dos direcciones.

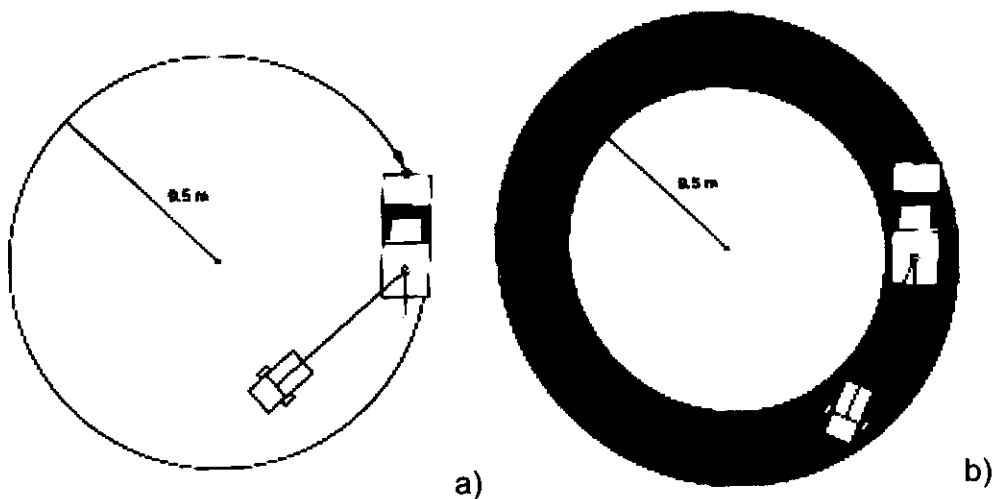


Figura 35 – Maniobra de giro estacionario (a) con eje fijo y (b) con eje direccional en el semiremolque (Bortoni 2008).

Las imágenes ilustran la reducción grafica en el ancho de vía requerido para llevar a cabo un giro estacionario de 9.5 metros llegando a 5.3 metros para el eje fijo y de 2.3m cuando llega a utilizar el control de dirección.

## 5.2 Maniobra de giro Transitorio.

También llamado giro J, se lleva a cabo cuando el semiremolque y el tractor se encuentran alineados, él vehículo comienza un giro a  $90^\circ$  en un radio de 8, 9.5 y 11.25 metros a una velocidad de 10Km/h. La maniobra fue elaborada para conocer el ancho de vía mínimo para la circulación del vehículo en zonas urbanas (Figura 36).

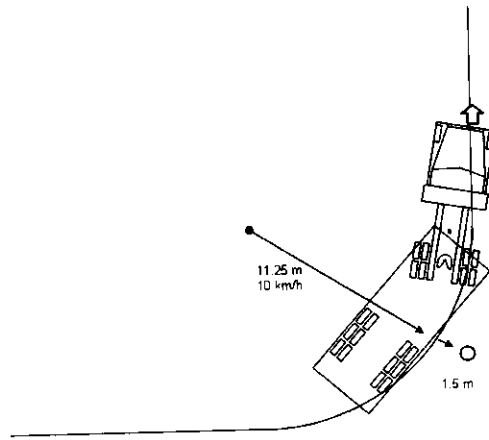


Figura 36 - Giro transitorio (Bortoni, 2006).

Las maniobras comparativas se realizaron, para demostrar que la implementación de la dirección en el semiremolque, es una ayuda eficaz, para tener un mejor control del vehículo, a una velocidad constante.

Para demostrar la eficiencia de esta prueba se realizó con dirección fija y dirección móvil, en la tabla, podemos observar que la dirección móvil ayudó a reducir el despiste casi en un 50%, también podemos observar que cuando la curva se reduce a un radio de 8 metros con dirección fija, no existen resultados ya que el semiremolque llegó a subirse a la banqueta (Figura 37).

$r_p$ [m]	$\delta_r$ [°]	$\delta_a$ [°]	$\delta_r$ [°]	$OT_e$ [m]	$T_w$ [m]
8.0	27.8	30	28	1.21	2.58
9.5	25.6	22	21	0.85	2.17
11.25	21.5	16	10	-0.37	2.01

Figura 37. Resultados de la prueba, giro estacionario.

Como podemos observar en la siguiente figura la maniobra se realiza con la dirección fija, la diferencia entre el ángulo de la camioneta y el semiremolque es evidente, la línea de color gris claro es la trayectoria de la camioneta y la de gris oscuro es el desfase del semiremolque (Figura.38, Grafica 1).

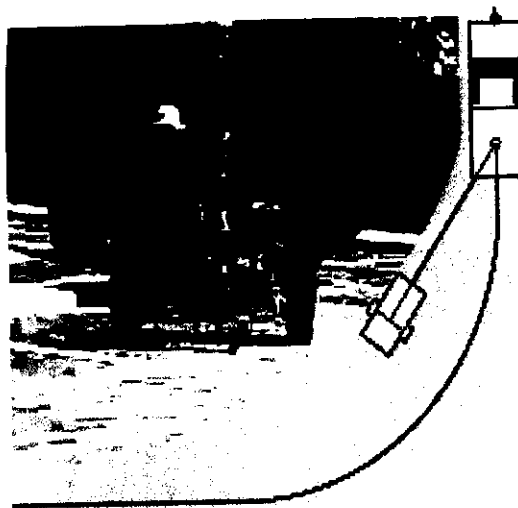
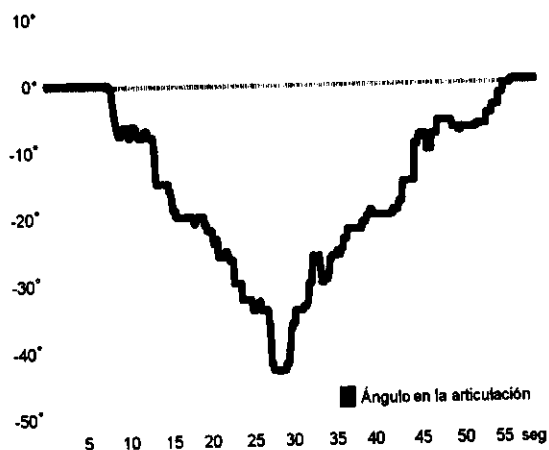


Figura 38, Giro transitorio, dirección fija.

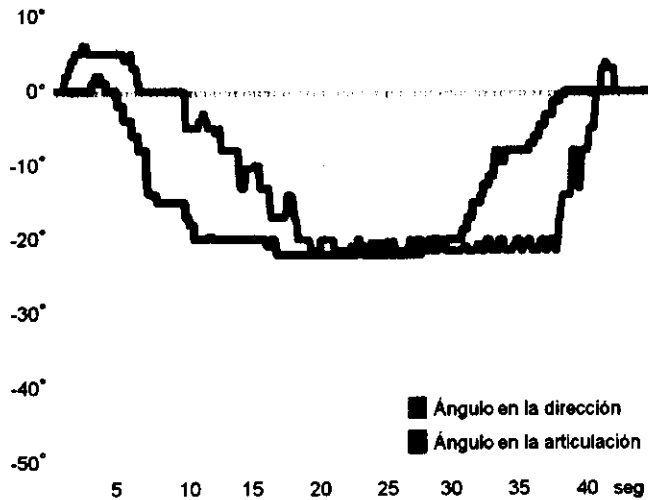


Grafica 1. Giro transitorio con dirección fija.

En este esquema podemos observar la gran diferencia que existe cuando la maniobra es llevada a cabo con dirección móvil, en esta grafica se observa que la curva de un color gris claro llega a ser positiva, esto se debe a que, cuando el conductor está en la parte de atrás comienza a enderezar las ruedas para tomar la curva en una posición correcta y realizar la corrección evitando, el comportamiento que sucede cuando se encuentra fija, la trayectoria de la camioneta y el semiremolque es similar, comprobando que funciona como se esperaba (Figura 39, Grafica 2).



Figura 39 Giro transitorio, dirección móvil.



Grafica 2. Giro transitorio con dirección móvil.

### 5.3 Maniobra tipo slalom.

La maniobra consta de una serie de giros el cual es conformado por un circuito, esta trayectoria se realiza a baja velocidad, 10 Km/h, (Figura 40).

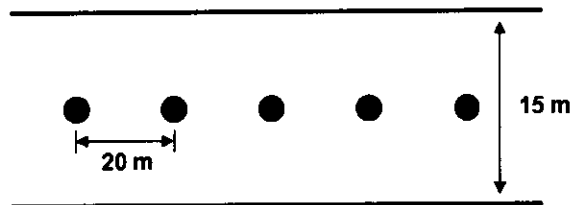


Figura 40. Maniobra tipo slalom (Bortoni, 2006).

Para esta maniobra se utiliza un método de comparación, este tipo de indicador es denominado “ancho de maniobra”, sucede cuando existe un exceso de espacio, al ubicar el vehículo en cada lado de la línea de obstáculos, esto da a conocer que en un vehículo con una maniobrabilidad alta requeriría menos espacio a cada lado del obstáculo para librarlo (Figura 41).



Figura 41 – Maniobras de slalom (Bortoni, 2008).

Las pruebas fueron realizadas, los obstáculos fueron colocados a una distancia de 10 metros, para la prueba del semiremolque con eje fijo se necesitó un ancho de vía de 7 metros (este fue todo el espacio con el que se contaba para la realización de la prueba), esto nos da a conocer que el ancho de maniobra, sería de 3.12 metros, se considera porque a los 7 metros, (que es el ancho total) se le resta 2 veces el ancho del vehículo.

Los 3.12 metros abarcan la maniobrabilidad a cada lado en cada uno de los obstáculos, que intenta reflejar las características relativas en el vehículo, tales como la percepción del conductor, la pericia del mismo, esto debido a que la respuesta en la maniobrabilidad realizada a la izquierda o a la derecha podrían variar la respuesta en las pruebas; cuando los datos fueron procesados se comprobó la teoría antes mencionada.

Al realizar las pruebas con el eje direccional del semiremolque, la distancia en la maniobra se redujo a casi 0.6 metros. Mientras se realizaron las pruebas, el conductor pasó los obstáculos del mismo lado, este conseguía pasar con un espacio mínimo, en tanto que al efectuar la maniobra por el lado contrario el espacio era considerablemente mayor (Figura 42).

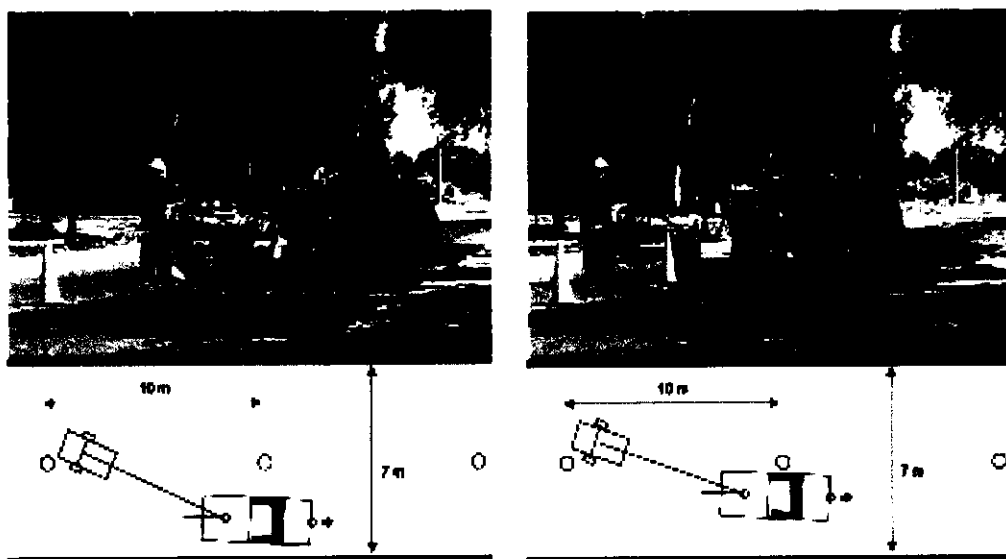
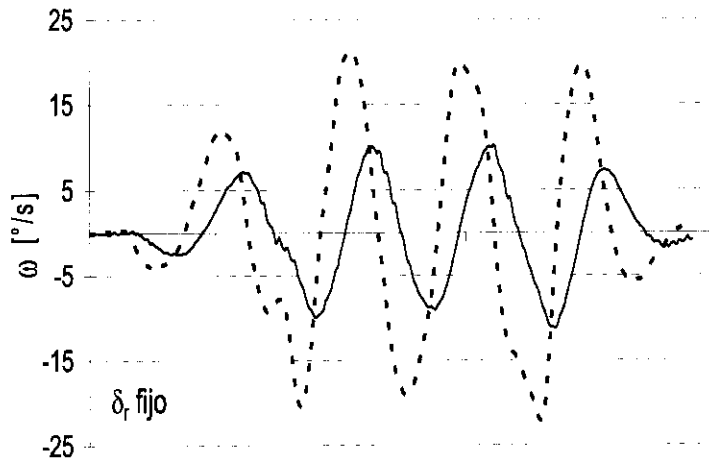


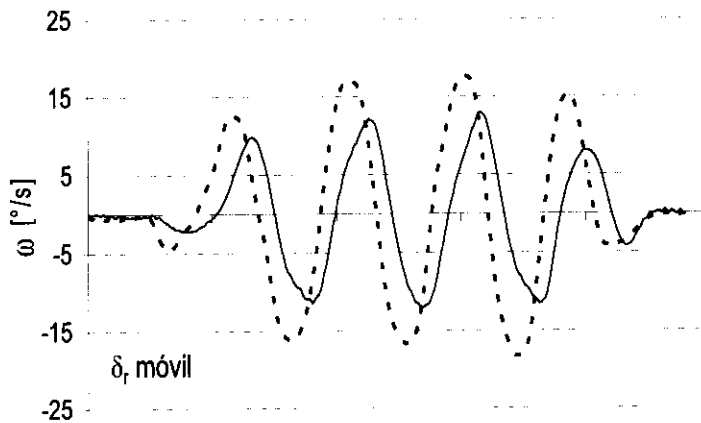
Figura 42 – Maniobra tipo slalom con eje fijo y con control direccional en el semiremolque (Bortoni, 2008).

Como se puede apreciar en la grafica 3, y 4, al emplear el control direccional, en la articulación del vehículo, los ángulos máximos llegaron hasta los 22° (arriba), mientras que con en el eje fijo el ángulo llego prácticamente a los 50° (abajo), la línea en color negro representa el ángulo en la articulación y la línea en color gris claro representa el ángulo en la dirección del semiremolque

El control direccional puede interpretarse, el vehículo requirió que los giros fueran menos pronunciados y por consecuencia utiliza menos espacio al maniobrar. Análogamente hablando y considerando las lecturas de aceleración lateral que se detectaron tanto en el vehículo como en el semiremolque, en la maniobra slalom, en la figura se puede observar que la velocidad en el vehículo disminuye ligeramente en tanto que en el semiremolque se incrementa la cual tiende a igualarse.



Gráfica 3 Velocidad angular complementaria, para el ejemplo de maniobras de slalom., con eje fijo.



Gráfica 4. Velocidad angular complementaria, para el ejemplo de maniobras de slalom, con eje móvil. La línea sólida representa al semiremolque y la punteada a la camioneta (Bortoni, 2008).

Esto nos da a entender que el desplazamiento con ángulos relativos, fue uniforme en el ángulo de articulación, entre el semiremolque y la camioneta, por consecuencia esto conlleva aun menor espacio de maniobra.

Los resultados se compararon con las publicaciones en los prototipos de Australia e Inglaterra para un giro de  $90^\circ$  con un radio de 11.25 metros a una velocidad inferior a los 10 Km/h, en condiciones similares se tiene que:



Ejes del semiremolque	Ancho de vía respecto a un semiremolque con ejes fijos
Auto-direccionales	94.2%
Trackaxle	91.8%
Cambridge	88.4%
UAQ-IMT	70.1%

Figura 43 – Comparación del ancho de vía en diferentes configuraciones vehiculares durante una maniobra de giro transitorio. (Jujnovich, 2002 & Prem, 2001).

La figura 43 ilustra el beneficio de incorporar los diferentes sistemas de control direccional, y es presentado en porcentajes debido a que aún y cuando se realizo la misma maniobra en todos los casos, el tipo de tractor, el número de ejes en el tractor y semiremolque, así como el uso o no, de neumáticos duales, son factores que tienen efecto sobre los resultados.

Esto quiere decir que el porcentaje representa el ancho de vía requerido, este es comparado con respecto a cada uno de los mismos vehículos durante la misma maniobra con ejes fijos.

## 6 CONCLUSIONES.

La poca maniobrabilidad de los vehículos de carga es una de sus grandes desventajas, esto debido a las grandes dimensiones tanto de tractor como del semiremolque, tipo de carga y el peso del vehículo, las diferentes combinaciones entre cajas, cantidad de ejes, neumáticos duales y las condiciones de desgaste del mismo. En la alineación de los semiremolques también llamada unidad de arrastre, es necesario un mayor ajuste en la dirección del tractor. Una de las alternativas propuestas fue la implementación de ejes direccionales en la unidad de arrastre, para incrementar la maniobrabilidad.

Como resultado de las pruebas realizadas en el semiremolque experimental, se pudo observar que al utilizar el eje con dirección fija como en el modo convencional de los vehículos de carga; la maniobra en las trayectorias curvas presento un ángulo de articulación mayor al ángulo de orientación de las ruedas direccionales de la camioneta, en palabras simples esto nos da a entender que cuando la camioneta realiza la trayectoria curva la respuesta del semiremolque es lenta y no logra igualar el recorrido de la camioneta, provocando un despiste considerable, que se mantiene constante durante la maniobra. Por otro lado al realizar las pruebas con el eje con dirección variable el ángulo en la articulación fue similar al de la dirección de la camioneta. Al comparar la prueba con las dos diferentes adaptaciones podemos notar que al tener el eje fijo provoca una invasión de la zona interna de la curva, por el otro lado con el eje variable esta se reduce asemejándose a la línea de la trayectoria trazada.

Algunas de las pruebas que se llegaron a hacer en estudios anteriores fueron llevadas a cabo en simuladores estos se comportan linealmente, se llego a la conclusión de que en la vida real influyen muchos factores y el comportamiento no llega a ser totalmente lineal, en las pruebas se intento que este fuera lo más preciso posible, se comprobó que con ayuda de la instrumentación y los estudios

realizados en cada una de las maniobras se logra una reducción en el despiste la cual llega a ser de hasta un 50%.

La finalidad de desarrollar un semiremolque experimental e instrumentarlo de un modo que pudiera hacer las mediciones correctas en los lugares importantes, fue para lograr determinar tanto el despiste en maniobras a baja velocidad como la falta de alineación en las mismas, con esto logramos comprobar una posibilidad de mejorar los diseños convencionales en las unidades de arrastre y mejorar el rendimiento y productividad en las diferentes combinaciones en los vehículos de carga.

En el desarrollo de este trabajo se planteo la posibilidad de colocar un motor o actuador para que fungiera como la dirección del eje, en lugar de realizar las pruebas con un sistema de dirección convencional manipulado por un operador.

En investigaciones futuras se planea realizar el análisis del semiremolque con la adaptación del actuador así como las modificaciones al mismo, entre estas la utilización de neumáticos duales, ejes múltiples y/o retractiles, diferentes regímenes de carga y combinaciones entre diferentes remolques, semiremolques o ambos como el efecto que tendrían entre sí al utilizar doble semiremolque (comprobar la variación entre el ángulo del primer semiremolque y el segundo), y la realización de las maniobras a alta velocidad. Con estas modificaciones se pretende acercar al comportamiento real del vehículo, esto con el fin de ajustar el sistema de control y correrlo en un vehículo.

Se desea evitar la invasión de carril la cual se considera como una de las causas de accidente vial, otro de los objetivos de este estudio fue minimizar la fricción en los neumáticos evitando que la adherencia se reduzca ya que al perderla, el tractor llega a hacer más esfuerzo el efecto de esto desgasta los neumáticos y aumenta el consumo de combustible, esta es una forma eficiente de controlar la

trayectoria del semiremolque con respecto al tractor su función y reducir costos por desgaste.

El costo en la implementación de este sistema es alto, pero a largo plazo llega a ser una gran inversión, como se menciono anteriormente los gastos de operación se reducirían considerablemente, reduciendo el desgaste en neumáticos, menor consumo de combustible y un mejor maniobrabilidad del vehículo.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1] Billing, J R y Patten, J D "Performance of infrastructure-friendly vehicles", (2003) Centre for Surface Transportation Technology, National Research Council of Canada, Technical Report CSTT-HVC-TR-058, 190 pp.
- [2] Billing, J R y Patten, J D "Full scale performance testing of 5-axle semitrailers", (2004) Centre for Surface Transportation Technology, National Research Council of Canada, Technical Report CSTT-HVC-TR-084, 114 pp.
- [3] Bortoni, L., J. Muñiz, R. Rangel, R. Castañeda (2007) "Instrumentación para el análisis del comportamiento direccional de vehículos articulados". Tercer congreso internacional de ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [4] Cebon, D 'Handbook of Vehicle-Road Interaction', (1991) Engineering Department, Cambridge University, England, ISBN 90 265 1554 5.
- [5] Coleman, B y Sweatman, P "Steerable axles to improve productivity and access", (2002) Final report, National Road Transport Commission, ISBN 1 877093 20 3. 148 pp.
- [6] Corbin, G, Grandbois, J, y Richards, M J "Evaluation de L'essies Autovireur Utilisé sus une Semi-remorque" (1995). Proceedings of the fourth International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions, Ann Arbor, Junio 25-29, 1995, pp 525-536.
- [7] CVDC Cambridge Vehicle Dynamics Consortium (2005) <http://www.cvdc.org/projects.html>, fecha de consulta: marzo 2005.

[8] Muñiz J., R. Rangel (2007) "Instrumentación para obtención de medidas de desempeño y comportamiento dinámico en vehículos articulados", Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Querétaro.

[9] Truco, Cesar (2003) "Seguridad activa adelantamientos inteligentes "El mundo / Motor.España.

[10] WINKER, C.B. (1998) "The influence of rear mounted caster – steered axles on the yaw performance of commercial heavy vehicles". UMTRI.

[11] WU.H.Jia. (2003) "Analysis dynamic lateral response for multi-axle-steering tractor and trailer". Heavy Vehicle Systems. De la serie international Journal of Vehicle Desing. Vol 10 núm. 4.

## ANEXO

En las siguientes tablas podemos apreciar 6 columnas de las cuales la primera es el radio en que fue realizada la curva, la siguiente nos da a conocer en qué posición fue ajustado el copleé de la quinta rueda respecto al eje de tracción de la camioneta, las posiciones que maneja son normal el cual se refiere cuando el acoplamiento se encuentra sobre el eje y en cuanto a las posiciones adelantado y atrasado, pasa cuando el copleé se desplaza 0.50m hacia adelante o hacia atrás del eje.

La tercera columna se trata de la dirección en el semiremolque ya sea fija o móvil, el ángulo en la articulación es el máximo alcanzado en cada una de las pruebas, las últimas dos columnas representan el despiste y el ancho de vía máximos los cuales fueron calculados con los datos anteriores y las condiciones de las maniobras (Tabla 4 y 5).

RADIO	COPE	DIRECCION	ANGULO ARTIC	DESPISTE	ANCHO DE VIA
11.25	Adel	Fija	39.5	1.51	2.931
		Móvil	24	0	2
	Norm	Fija	47	2.39	3.93
		Móvil	28	0.1	2
	Atra	Fija	52	2.95	4.58
		Móvil	31	0.42	2.1
9.5	Adel	Fija	53.7	2.47	4.02
		Móvil	30.6	0	2
	Norm	Fija	64	3.6	5.32
		Móvil	36	0.32	2
	Atra	Fija	74.8	4.66	6.5
		Móvil	42.1	1.1	2.4
8	Adel	Fija	90	5.6	8.5
		Móvil	58.5	2.56	4.1
	Norm	Fija	90	5.6	8.5
		Móvil	65	3.28	4.95
	Atra	Fija	90	5.6	8.5
		Móvil	73.2	4.13	5.9

Tabla 4 – Mediciones en maniobra de giro estacionario (elaboración propia).

RADIO	COPLE	DIRECCION	ANGULO ARTIC	DESPISTE	ANCHO DE VIA
11.25	Adel	Fija	28.5	1.87	3.3
		Móvil	14.4	0	2
	Norm	Fija	34	2.5	4.06
		Móvil	16	0	2
	Atra	Fija	40.8	3.26	4.9
		Móvil	18.2	0.63	2.1
9.5	Adel	Fija	34	2.27	3.8
		Móvil	18	0.36	2.4
	Norm	Fija	40	2.95	4.58
		Móvil	22	0.85	2.17
	Atra	Fija	52	4.21	6
		Móvil	29	1.69	3.13
8	Adel	Fija	47	3.17	4.83
		Móvil	25	0.61	2.1
	Norm	Fija	59	4.4	6.23
		Móvil	30	1.21	2.58
	Atra	Fija	69	5.28	7.23
		Móvil	43	2.73	4.32

Tabla 5 – Mediciones en maniobra de giro transitorio (elaboración propia).

Para la maniobra tipo slalom las características en las pruebas son diferentes ya que en la primera columna se da a conocer la distancia entre cada obstáculo, de igual forma que en las anteriores tablas se toma en cuenta la posición del copleé manejando las mismas consideraciones que en las otras pruebas así como también la dirección ya sea fija o móvil y el ángulo máximo que alcanzo en la articulación del semiremolque se percibió durante la maniobra. Para esta prueba no se calcula el despiste ni el ancho de vía ya que no existe una trayectoria definida, la finalidad de esto es comprobar la diferencia en los ángulos con dirección fija y móvil.(Tabla 6)



OBSTACULOS	COPLE	DIRECCION	ANGULO ARTIC.
15	Adel	Fija	
		Móvil	
	Norm	Fija	33
		Móvil	17.3
	Atra	Fija	37
		Móvil	19.7
10	Adel	Fija	37.6
		Móvil	19
	Norm	Fija	42
		Móvil	21
	Atra	Fija	54
		Móvil	25.2

Tabla 6. – Mediciones en maniobra de slalom (elaboración propia).