



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

# **ALINEACIÓN DE SISTEMA DE ACTUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE CARROCERÍAS KLT**

**TESIS**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:  
ANTONIO MARCEL DÍAZ GARCÍA

TUTOR PRINCIPAL  
Dr. Marcelo López Parra,  
Facultad de Ingeniería UNAM

Ciudad Universitaria, CD. MX. Enero 2017

---

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Alejandro C. Ramírez Reivich

Secretario: Dr. Vicente Borja Ramírez

Vocal: Dr. Marcelo López Parra

1<sup>er.</sup> Suplente: M.I. Serafín Castañeda Cedeño

2<sup>do.</sup> Suplente: M.I. Antonio Zepeda Sánchez

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, UNAM.

**TUTOR DE TESIS:**

Dr. Marcelo López Parra

-----  
**FIRMA**

---

---

# Agradecimientos

---

Doy gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser tierra fértil para la siembra de conocimientos, y por abrir sus brazos y acogerme en sus aulas, bibliotecas y espacios.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería por todos los conocimientos que ha puesto a mi alcance, y a sus profesores por dedicar su valioso tiempo a la formación de ingenieros.

Agradezco al CONACYT, por su gran apoyo y confianza. Gracias por impulsar el talento que en México existe.

A mis profesores, los doctores Marcelo López Parra, Alejandro Ramírez Reivich, y Vicente Borja Ramírez, les agradezco profundamente por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias. En sus palabras habitan enseñanzas invaluable. Gracias por mostrarme facetas tan diferentes de la Ingeniería. Gracias también por todo el tiempo y esfuerzo que me brindaron para que la culminación de este trabajo fuera posible.

Gracias a los maestros Antonio Zepeda y Serafín Castañeda por leer y revisar este trabajo en sus etapas preliminares y darme su consejo para mejorarlo.

Gracias a mi papá y a mi mamá por ser mis cimientos. Porque lo bueno que hay en mí ustedes lo han sembrado. Gracias por su amor y por el gran esfuerzo que han hecho para inculcarme valores y principios.

Gracias a mi hermano, mi amigo inseparable. Porque siempre has estado para mí y has sido un ejemplo a seguir. En gran parte la decisión de seguir éste sendero fue motivada por ti.

Gracias a mi amada esposa, Berenice Valencia, a quién admiro profundamente. A ti dedico este trabajo porque tú me has acompañado en cada día de esta aventura, me has impulsado y has sido mi apoyo para mantenerme firme hasta el final. Gracias por tu amor incondicional. Tu eres mi motivo y mi inspiración.

---

---

---

# Contenido

---

<b>Resumen</b>	<b>3</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>5</b>
1.1 Los bancos de pruebas y su aplicación como herramientas para validación de componentes y productos.	6
1.2 El Banco KLT, diseñado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para evaluar puertas de automóviles.	7
1.3 Identificación de la necesidad	11
<b>2 Objetivos y alcance</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo principal y objetivos particulares.	14
2.2 Alcance del proyecto.	14
<b>3 Descripción del Banco KLT</b>	<b>15</b>
3.1 Descripción de los elementos fijos del Banco KLT.	16
3.2 Descripción de los elementos de ajuste del Banco KLT.	19
3.3 Descripción de los elementos móviles del Banco KLT.	21
3.4 Descripción general del procedimiento que se sigue antes de comenzar la prueba de durabilidad con el Banco KLT.	23
<b>4 Definición del problema de alineación</b>	<b>25</b>
4.1 La importancia de una alineación adecuada del sistema de actuación del Banco KLT.	26
4.2 El problema de alineación del Banco KLT: Alinear los tres ejes de rotación de cada sistema motriz.	28
4.3 Descripción del procedimiento empleado actualmente para colocar los elementos del sistema de actuación del Banco KLT.	30
<b>5 Propuesta analítico-experimental</b>	<b>33</b>
Descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT.	34
Refinamiento de la descomposición en funciones.	38
<b>6 Resultados</b>	<b>51</b>
<b>7 Propuesta de diseño de herramienta</b>	<b>57</b>
7.1 Declaración de la misión del sistema de medición de coordenadas tridimensionales.	58
7.2 Identificación de las necesidades del usuario.	59
7.3 Descomposición funcional del sistema de medición de coordenadas tridimensionales.	60
7.4 Propuesta de nuevos conceptos.	60
7.5 Selección de concepto para ser desarrollado como trabajo a futuro.	68

---

<b>Conclusiones y trabajo a futuro</b>	<b>69</b>
<b>Referencias</b>	<b>71</b>
<b>Apéndice</b>	<b>73</b>



---

# Resumen

---

En el presente trabajo se propone un procedimiento para alinear el sistema de actuación de puertas de un banco de pruebas, diseñado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para realizar pruebas de vida a carrocerías de automóviles. Este dispositivo está configurado para funcionar con automóviles de cuatro puertas, y tiene un sistema motriz dedicado a cada una de las puertas. La propuesta de diseño y procedimiento que se presentan consisten en alinear el eje de rotación de cada sistema motriz del banco de pruebas con el eje de movimiento de la puerta lateral correspondiente. La solución que se propone es un procedimiento analítico-experimental que permite encontrar la ubicación y orientación del eje de rotación de cada puerta y calcular la posición en la que deben ser colocados los elementos del banco de pruebas para que el eje de rotación de cada sistema motriz quede alineado con el eje de rotación de la puerta correspondiente del automóvil que será sometido a la prueba.

---

---

---

# CAPÍTULO 1

## Introducción

---

En la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se diseñó y construyó un banco de pruebas destructivas para evaluar la durabilidad de puertas de automóviles. Este dispositivo fue puesto en operación en la planta de producción de *Ford Motor Company* en Cuautitlán Izcalli. Con el banco de pruebas construido y puesto en operación, han surgido nuevos requerimientos. Uno de estos requerimientos radica en alinear algunos componentes del banco de pruebas con el eje de rotación de cada puerta. Con lo anterior se busca mejorar el funcionamiento de este dispositivo y obtener mejores resultados de las pruebas efectuadas. En este capítulo se introduce el problema que se investiga a lo largo del desarrollo del presente trabajo de tesis, y se da una explicación breve de lo que son los bancos de pruebas y la forma en que son empleados actualmente por las empresas para validar los diseños de componentes y productos.

En los capítulos posteriores se describirá en qué consiste el problema de alineación, y se estudiará cómo puede resolverse. También se presentará el diseño de un sistema que servirá como herramienta para realizar la alineación de forma más sencilla.

---

## **1.1 Los bancos de pruebas y su aplicación para la validación de componentes automotrices.**

Las empresas emplean varios métodos para conocer si la durabilidad, la resistencia mecánica, y el funcionamiento de los componentes que diseñan son adecuados. Una de estos métodos se conoce como pruebas de campo. Éste consiste en implementar alguna estrategia para medir las variables de interés de algún componente o producto, y usarlo de forma intensiva en su entorno de trabajo para obtener información del comportamiento de estas variables a lo largo del ciclo de vida del producto o componente. Por ejemplo, en el caso de las empresas de la rama automotriz, se instrumentan automóviles y se prueban en las calles y carreteras de forma intensa para conocer aspectos como el desempeño y durabilidad de sus componentes. Otro método ampliamente utilizado por las empresas consiste en fabricar una máquina que haga funcionar repetidamente el componente que se quiere evaluar. Esta alternativa también requiere contar con la posibilidad de medir el comportamiento de ciertas variables de interés. La máquina puede realizar pruebas día y noche, prácticamente sin detenerse para acelerar la obtención de los resultados. A estas máquinas, empleadas para obtener de forma experimental información del desempeño de componentes y productos, se les conoce como bancos de pruebas. La experimentación con bancos de pruebas, al igual que las pruebas de campo, son métodos utilizados para detectar oportunidades para mejorar el diseño de productos y componentes, y para obtener información de su durabilidad, resistencia, y funcionamiento.

La tendencia para el futuro es simular por medio de herramientas computacionales el funcionamiento de los componentes diseñados para conocer su desempeño. Con esta alternativa se busca disminuir el tiempo y los costos requeridos para obtener la información de interés por medios experimentales. Para que la simulación por computadora remplace a las pruebas de campo y a la experimentación con bancos de prueba, se requiere que los resultados que entregue sean extremadamente confiables y no sea necesario un proceso posterior de validación experimental. En la actualidad no ha sido posible, para la totalidad de los casos, remplazar las pruebas de campo y la experimentación con bancos de pruebas por métodos de simulación por computadora. Por ahora estas herramientas de simulación se emplean como apoyo para el diseño de productos y componentes; y posteriormente los diseños desarrollados son validados por medio de métodos experimentales.

Actualmente, el número de empresas que emplean bancos de pruebas para evaluar el desempeño de los componentes que diseñan, ha aumentado de forma

considerable. En general, emplear bancos de pruebas es una alternativa menos costosa y menos tardada que las pruebas de campo. Los bancos de pruebas son dispositivos que permiten evaluar, por medio de experimentos controlados y repetibles, el desempeño de un sistema ante alguna prueba en particular. Estos dispositivos permiten obtener en meses o días resultados que pueden tardar años al emplear otros métodos experimentales.

Una de las estrategias de competitividad más importantes para las empresas consiste en hacer de la calidad el principal factor diferenciador. Las empresas que buscan destacar entre sus competidores por contar con productos de calidad superior, requieren implementar procesos tecnológicos que les permitan mejorar sus productos de forma rápida y efectiva. El uso de bancos de prueba permite detectar fallas imprevistas en componente y productos antes de que éstos lleguen a las manos del usuario.

Una de las pruebas que se suele realizar a los automóviles durante su etapa de desarrollo consiste en realizar repetidamente ciclos de apertura y cierre de las puertas para verificar el desempeño de sus elementos a lo largo de su ciclo de vida. En esta prueba se emplean mecanismos controlados que abren y cierran las puertas de un automóvil miles de veces. Frecuentemente se realizan más de 80 mil ciclos en cada prueba. Estas pruebas se realizan tanto a temperatura ambiente como en cámaras de clima controlado en donde el automóvil es sometido a condiciones extremas de temperatura, humedad y corrosión. A continuación, se describirá un banco de pruebas que fue diseñado y construido en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para evaluar la durabilidad de puertas de automóviles. Más adelante, se describirá también la prueba que se realiza con este dispositivo.

## **1.2 El Banco KLT, diseñado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para evaluar de puertas de automóviles.**

En el Departamento de Diseño de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se diseñó y construyó un banco de pruebas destructivas para evaluar la durabilidad de puertas de automóviles [1,2]. Este dispositivo fue diseñado para funcionar en la planta de producción de *Ford Motor Company* en Cuautitlán Izcalli. En el presente documento se llamará Banco KLT a dicho sistema. La abreviación KLT proviene de las siglas en inglés de la expresión *Key Life Test*. Esta expresión significa prueba de vida clave, o prueba de durabilidad clave. En la Figura 1.1 se muestra una imagen del Banco KLT. en la imagen se ve una camioneta que será sometida a la prueba de vida.

Con la utilización del sistema se busca conocer qué les sucede a las puertas de los automóviles a lo largo de su vida útil, medida en número de ciclos de apertura y cierre. Las puertas de los automóviles resultan ser sistemas complejos que están constituidos por elementos muy diversos. En las puertas se pueden encontrar tornillos, bisagras, cerraduras, y diversos elementos de metal o vidrio, entre otros componentes. El diseño de un banco de pruebas destructivas fue solicitado para ayudar a predecir con mayor certeza el tiempo de vida de los componentes mecánicos y eléctricos que integran las puertas de los automóviles después de que han sido abiertas y cerradas miles de veces. El uso del Banco KLT permite validar que el diseño de los componentes de las puertas es adecuado, y que resistirán la cantidad de ciclos de apertura y cierre establecidos por el fabricante y garantizados al usuario.

La durabilidad de los componentes se estima por medio de una prueba controlada en la que de forma repetida se realizan ciclos que consisten en quitar el seguro de la puerta, abrirla y cerrarla, y poner el seguro nuevamente [2]. Los ciclos de apertura y cierre se realizan con las ventanas en diferentes posiciones. Las posiciones para las ventanas son: cerradas completamente, a la mitad de su apertura, y completamente abiertas.

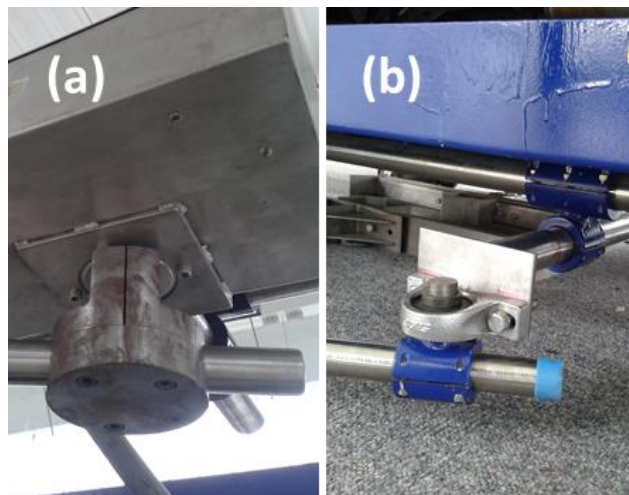


**Figura 1.1** Banco de pruebas destructivas para puertas de automóviles diseñado en la Facultad de Ingeniería de la UNAM para la planta de producción de Ford Motor Company en Cuautitlán Izcalli.

El Banco KLT cuenta con dos sistemas generales. Uno de los sistemas se ocupa de poner y quitar los seguros de cada puerta, y abrir y cerrar las ventanas. Este sistema se coloca en el interior del vehículo. El otro sistema se encarga de abrir y cerrar las puertas, y se encuentra en la parte exterior del vehículo.

El Banco KLT está diseñado para trabajar con vehículos de cuatro puertas de diversos modelos. Cuenta con cuatro sistemas motrices, uno dedicado a generar y transmitir el movimiento de apertura y cierre a cada puerta. Cada sistema motriz cuenta con un servomotor eléctrico en la parte superior y una chumacera en la parte inferior. Estos dos componentes están conectados por un elemento tubular con forma de C, al que se llama brazo. Cada brazo del Banco KLT está sujeto al eje del servomotor correspondiente por medio de una pieza de acoplamiento y a la respectiva chumacera por medio de una abrazadera. En la Figura 1.2 se muestran uno de los servomotores con su pieza de acoplamiento y una de las chumaceras con su abrazadera. En la Figura 1.3 se ilustran los elementos de uno de los sistemas motrices del Banco KLT y cómo es su disposición.

A lo largo del presente texto se empleará el término sistema de actuación para referirse al conjunto de los cuatro sistemas motrices anteriormente descritos. Al mencionar el eje de rotación o eje de movimiento del servomotor se hará referencia al eje alrededor del cual gira la flecha de salida de la caja de transmisión del servomotor. Cuando se mencione el eje de movimiento o eje de rotación de la chumacera se hará referencia al eje alrededor del que gira su aro interno. En la Figura 1.4 se ilustra el eje de rotación del servomotor y el eje de rotación de la chumacera en una posición general, en la que no están alineados.

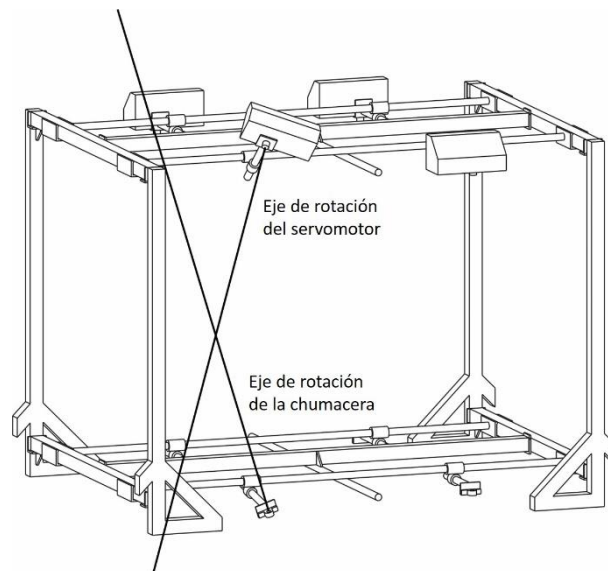


**Figura 1.2** a) Acoplamiento para sujetar el brazo al eje del servomotor; b) Abrazadera para sujetar el brazo a la chumacera.



**Figura 1.3** Elementos mecánicos que constituyen uno de los sistemas motrices del Banco KLT. El banco de pruebas cuenta con cuatro sistemas motrices, uno dedicado a cada puerta del auto.

El diseño y construcción del Banco KLT incorpora elementos versátiles que pueden ser utilizados para evaluar autos compactos, mini vans y camionetas. Estos elementos pueden ser colocados en diferentes posiciones, lo permite que algunas distancias y ángulos puedan ser ajustados para cada tipo de puerta y calibrados a las condiciones que exigen las pruebas.



**Figura 1.4** Banco KLT en una posición general en la que el eje de rotación del servomotor y el de la chumacera están desalineados.



### **1.3 Identificación de la necesidad a resolver.**

Se ha encontrado que realizar de forma adecuada el proceso de alineación puede mejorar significativamente el funcionamiento del banco de pruebas y se requiere un procedimiento que permita realizar esto de forma precisa y expedita. En el presente documento, se hablará de alinear el Banco KLT para referirse al proceso de alinear el eje de movimiento de cada sistema motriz con el eje de rotación de la puerta correspondiente del automóvil que será sometido a la prueba. En el Capítulo 4 se describe de forma detallada en qué consiste el problema de alineación del Banco KLT, y se analizan algunos de los efectos que tiene en el experimento la alineación adecuada del banco de pruebas.

En el presente documento, se hablará de alinear el Banco KLT para referirse al proceso de alinear el eje de movimiento de cada sistema motriz con el eje físico de rotación de la puerta del vehículo. En el Capítulo 4 se describe de forma detallada en qué consiste y qué efectos tiene una correcta alineación del sistema.

Una técnica de alineación manual muy utilizada en las plantas de producción para este tipo de bancos de prueba es proyectar verticalmente hacia suelo, con ayuda de una plomada, un punto de la cabeza del perno de la bisagra de cada puerta del vehículo, y marcar en el piso dicho punto proyectado. Posteriormente el punto proyectado es ubicado respecto a un marco de referencia conocido para estimar la ubicación del eje de rotación de la puerta. Con base en la ubicación del punto se ajusta la posición de los elementos que soportan al servomotor y a la chumacera para hacer que sus ejes de rotación coincidan con el punto ubicado. En este procedimiento se asume que el eje de rotación de la puerta es completamente vertical, situación que en general no ocurre en el diseño de los vehículos comerciales. Este procedimiento funciona, pero no garantiza una alineación precisa debido a que en muchas ocasiones los mismos componentes de la carrocería impiden posicionar fácilmente la plomada.

La alineación del Banco KLT requiere que se lleven a cabo diversas actividades. Entre estas actividades se encuentran:

- Encontrar la posición del eje de rotación de las cuatro puertas del vehículo que se someterá a la prueba.
- Determinar la posición en que debe ser colocado el servomotor y la chumacera de cada sistema de motriz.

- Conocer cómo deben ser colocados los elementos del Banco KLT para lograr que los servomotores y chumaceras queden colocados en la posición determinada para cada uno.

Estas actividades serán consideradas para generar una propuesta que permita resolver el problema de alinear el Banco KLT. A lo largo de los siguientes capítulos de este documento se presentará la propuesta para alinear el Banco KLT. A continuación, se presentarán los objetivos y alcances de este trabajo.

---

# CAPÍTULO 2

## Objetivos y alcance

---

Al resolver un problema de diseño, se busca encontrar la mejor solución. Diseñar es un proceso iterativo en el que se puede mejorar un sistema sucesivamente en busca de perfeccionarlo. En un escenario ideal para el Banco KLT se puede pensar en contar con un sistema que permita realizar la alineación de forma completamente automática. Se podría imaginar un sistema que busque por sí solo el eje de rotación de las puertas una vez que el automóvil haya sido colocado en el banco de pruebas. Una vez que los ejes de rotación hayan sido encontrados, el sistema podría determinar la posición en la que deben encontrarse el servomotor y la chumacera de cada sistema motriz para estar alineados con el eje de la puerta correspondiente. Finalmente, el sistema podría realizar movimientos controlados para colocar cada servomotor y cada chumacera en la posición correcta. Todas estas acciones podrían realizarse sin intervención del usuario. Para obtener un sistema con el nivel de desarrollo que se describe anteriormente, el primer paso es conocer el procedimiento que ese sistema automático debe realizar.

A continuación, se presentan los objetivos que dieron dirección al desarrollo de esta investigación.

---

## **2.1 Objetivo principal y objetivos particulares.**

Se requiere alinear el eje de movimiento de cada sistema motriz del Banco KLT con el eje de rotación de la puerta correspondiente del automóvil que será sometido a la prueba. El propósito de alinear el banco KLT es mejorar su funcionamiento y obtener mejores resultados de las pruebas realizadas.

Durante el desarrollo de la solución para alinear el Banco KLT se busca alcanzar los siguientes objetivos principal y particulares:

### **Objetivo principal**

Desarrollar un procedimiento para alinear el eje de rotación del servomotor y el de la chumacera de cada sistema motriz del Banco KLT con el eje de movimiento de la puerta correspondiente del automóvil que será puesto a prueba.

### **Objetivos particulares**

Encontrar un procedimiento que permita ubicar el eje de rotación de cada puerta del automóvil con respecto a un marco de referencia en el Banco KLT.

Encontrar la posición en la que deben ser colocados el servomotor y la chumacera de cada sistema motriz para hacer que sus ejes de rotación coincidan con el eje de movimiento de la puerta correspondiente.

## **2.2 Alcance del proyecto.**

El alcance que se estableció para el proyecto abarca desde el desarrollo de un procedimiento para alinear el Banco KLT, hasta el desarrollo del concepto de un dispositivo que facilite este proceso de alineación. Durante el proceso de desarrollo se evitará realizar modificaciones al banco de pruebas existente, y se procurará emplear los elementos con los que se cuenta para resolver el problema de alineación. En caso de que alguna modificación fuera requerida se harán esfuerzos para que éstas sean mínimas y fácilmente realizables.

---

# CAPÍTULO 3

## Descripción del Banco KLT

---

El Banco KLT fue diseñado para ser un dispositivo versátil. Puede funcionar con diversos tipos y modelos de automóviles gracias a un conjunto de elementos que permiten ajustar algunas de sus dimensiones. Esto le da la posibilidad de adaptarse a las características físicas de un gran número de vehículos. El conjunto de elementos que permiten ajustar las dimensiones del Banco KLT es de gran importancia para el desarrollo del proceso de alineación.

Para describir el Banco KLT se clasificaron los elementos que lo constituyen como elementos fijos, elementos de ajuste y elementos móviles.

El Banco KLT interactúa con las puertas del vehículo desde el interior del mismo o desde su exterior. El sistema que actúa desde el interior se encarga de cambiar la posición de los vidrios y de quitar y poner los seguros de las puertas. Por otra parte, los elementos del sistema que actúa desde el exterior se encargan de realizar la apertura y cierre de las puertas. Los elementos exteriores son los que están relacionados con el proceso de alineación que se propone, por lo que en este capítulo sólo se clasifican y describen los elementos de este conjunto.

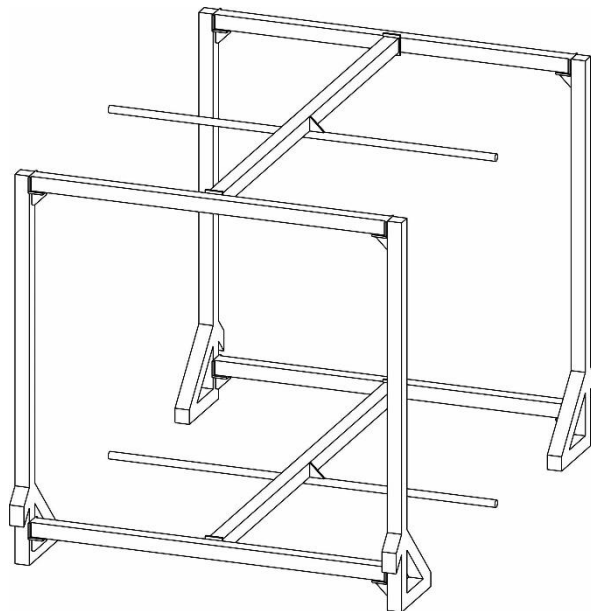
---

### 3.1 Descripción de los elementos fijos del Banco KLT.

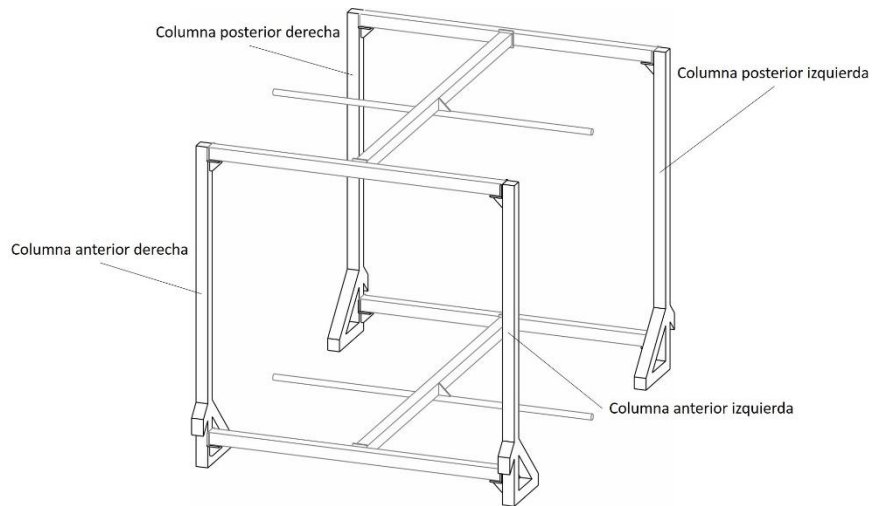
Se ha dado el nombre de elementos fijos del Banco KLT al grupo de piezas que conforman la estructura de este dispositivo de pruebas. Estos elementos permanecen fijos una vez que el banco de pruebas ha sido armado. La estructura del Banco KLT está conformada por cuatro columnas, cuatro vigas transversales y dos vigas longitudinales. A continuación, se describirán de forma general los elementos fijos del Banco KLT. Estos elementos se muestran en la Figura 3.1.

#### Columnas de soporte de la estructura del Banco KLT.

La estructura del Banco KLT cuenta con cuatro columnas que dan soporte al resto de los elementos de la estructura del banco de pruebas. Dos de las columnas se encuentran en la parte anterior del banco, una del lado izquierdo y la otra del lado derecho. Las otras dos se encuentran en la parte posterior, y al igual que las columnas de la parte anterior, hay una del lado derecho y otra del lado izquierdo. En la Figura 3.2 se muestran las cuatro columnas de la estructura del Banco KLT.



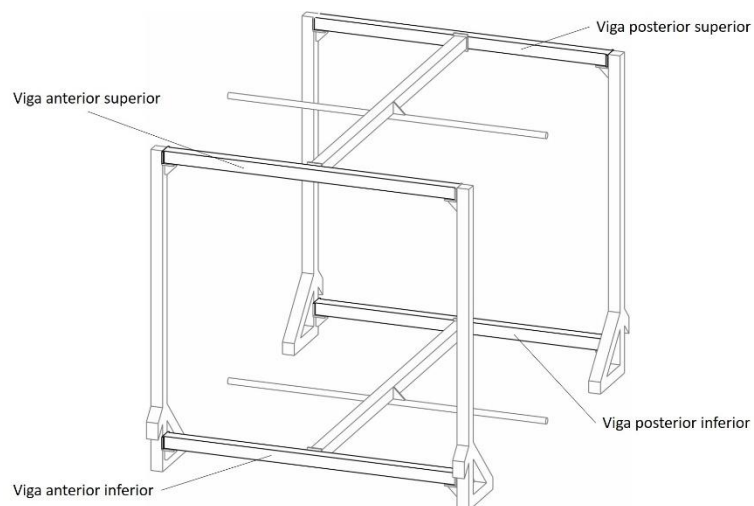
**Figura 3.1** Elementos fijos del Banco KLT. La estructura del banco KLT está formada por cuatro columnas, cuatro vigas transversales y dos vigas longitudinales.



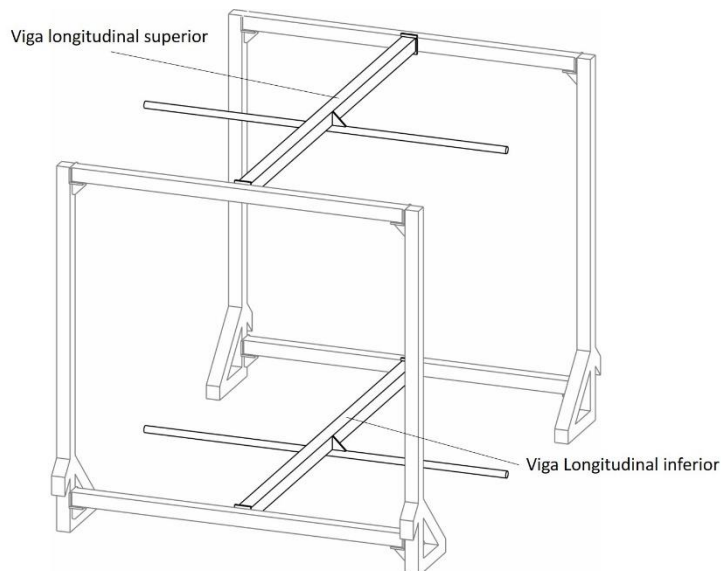
**Figura 3.2** Columnas de soporte de la estructura del banco KLT.

### Vigas transversales de la estructura del Banco KLT.

El Banco KLT tiene cuatro vigas transversales que unen a las columnas del lado izquierdo del banco con las columnas del lado derecho. La primera de las vigas une a las dos columnas de la parte anterior, y se encuentra ubicada en la parte inferior. La segunda viga transversal también une a las columnas de la parte anterior, pero se encuentra colocada en la parte superior. Las otras dos vigas transversales están colocadas de forma semejante, pero en la parte posterior. Estos conjuntos de piezas forman un marco en la parte anterior y otro en la parte posterior. En la Figura 3.3 se muestran las vigas transversales unidas a las columnas correspondientes, y pueden verse los marcos que se forman con estos grupos de piezas.



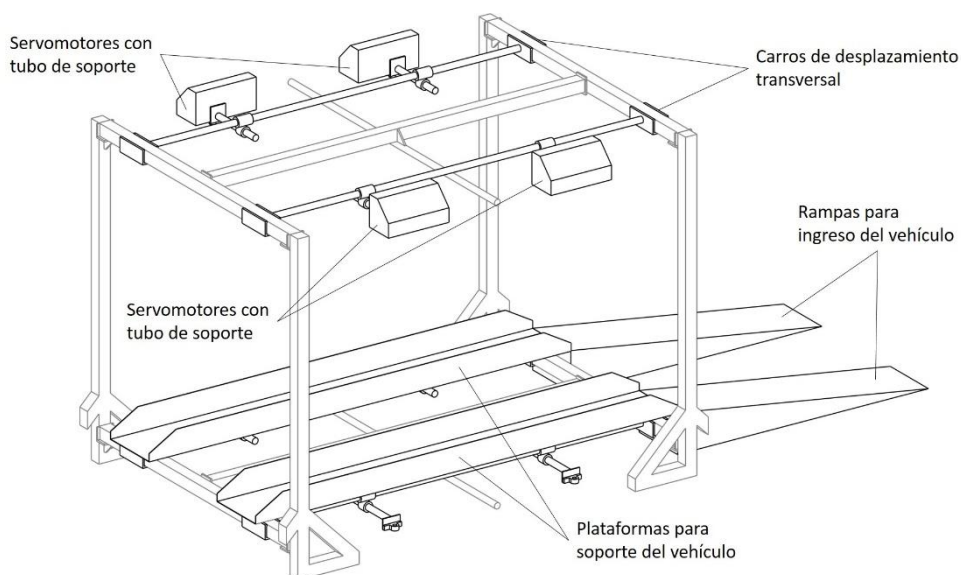
**Figura 3.3** Vigas transversales de la estructura del Banco KLT.



**Figura 3.4** Viga longitudinales de la estructura del Banco KLT

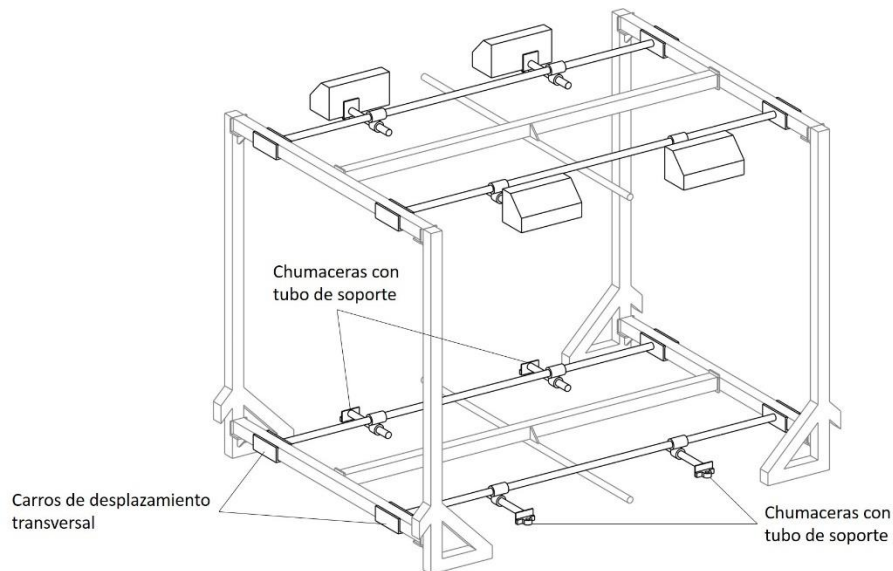
### Vigas longitudinales de la estructura del Banco KLT

Los marcos que se muestran en la Figura 3.3, formados por las columnas y las vigas transversales están unidos por dos vigas longitudinales. Una viga longitudinal está ubicada en la parte superior y la otra en la parte inferior. En la Figura 3.4 se muestran las vigas longitudinales y la forma en que conectan a los marcos anterior y posterior.





**Figura 3.5** Elementos de ajuste del banco KLT. Se muestra la ubicación respecto a la estructura del banco de pruebas.



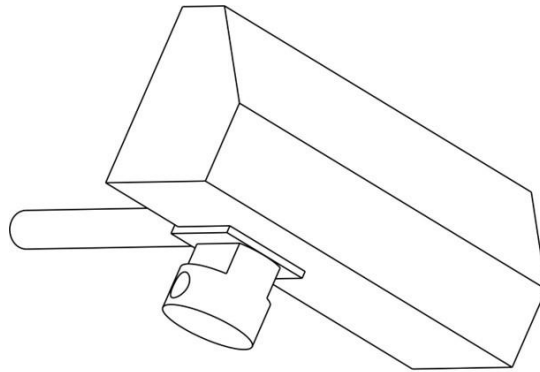
**Figura 3.6** Elementos de ajuste del banco KLT. En esta figura se omiten las rampas de ingreso del vehículo y las plataformas de soporte.

### 3.2 Descripción de los elementos de ajuste del Banco KLT.

En esta clasificación se encuentran aquellos elementos que pueden ser colocados en diferentes posiciones para ajustar algunas de las dimensiones del Banco KLT. Antes de comenzar cada prueba las dimensiones del Banco KLT se ajustan de acuerdo con las características del vehículo que será evaluado. Los elementos de ajuste son colocados en cierta posición antes de comenzar la prueba, y se dejan fijos durante su ejecución. Para referirse a estos elementos, se han definido los nombres que se muestran en la Figura 3.5 y en la Figura 3.6. En estas figuras también se muestra la ubicación de los elementos de ajuste respecto a la estructura del Banco KLT. En la Figura 3.6 se omiten las Plataformas para soporte del vehículo y las Rampas para ingreso del vehículo, para que sea más sencillo visualizar algunos de los elementos de ajuste.

#### Plataformas para soporte del vehículo.

El banco cuenta con dos plataformas para soportar el vehículo que será sometido a la prueba. Estas plataformas o rieles se desplazan de un lado a otro para ajustar su posición de acuerdo con la distancia entre las llantas del automóvil. Una vez



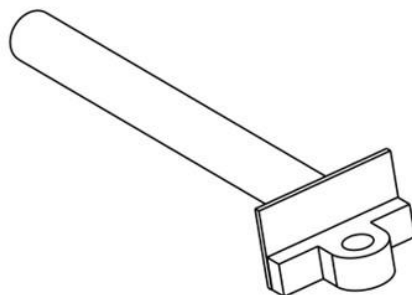
**Figura 3.7** Servomotor con tubos de soporte.

### **Carros de desplazamiento transversal.**

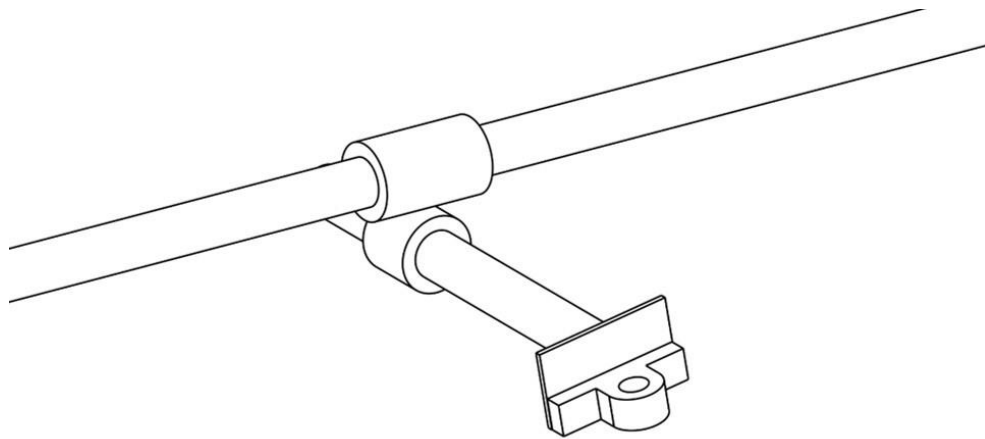
En el conjunto de elementos de ajuste del Banco KLT hay cuatro carros de desplazamiento transversal. Estos carros cargan a los servomotores y a las chumaceras junto con sus respectivos tubos de soporte como puede verse en las Figuras 3.5 y 3.6. Cada carro de desplazamiento transversal está formado por un tubo que va de la parte anterior a la parte posterior del Banco KLT y por las piezas que se apoyan en las vigas transversales.

### **Servomotores con tubo de soporte**

En la clasificación que se propone, se considera como un solo elemento a cada servomotor junto con la caja en donde está alojado y el tubo que lo soporta. Todas estas piezas se moverán como un solo elemento para ajustar la posición del servomotor. En la Figura 3.7 se puede ver un servomotor con su tubo de soporte.



**Figura 3.8** Chumacera con tubos de soporte.



**Figura 3.9** Abrazadera de unión de tubos. Se muestra la abrazadera uniendo el tubo de un carro transversal con el de una chumacera.

### **Chumaceras con tubo de soporte**

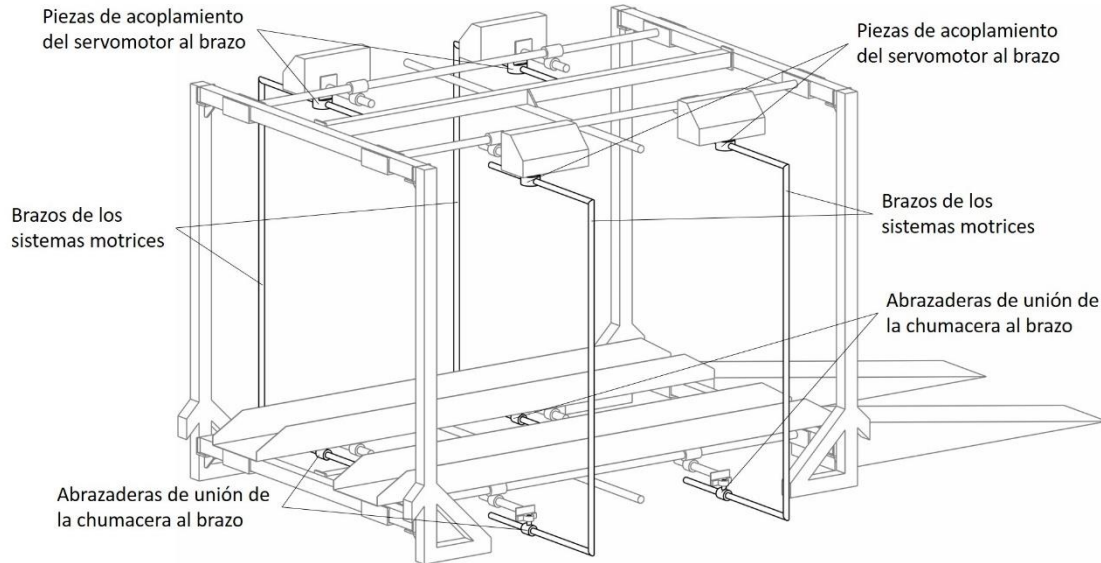
De forma semejante a los servomotores, cada chumacera junto con el tubo de soporte correspondiente y los elementos que la unen a él, serán consideradas como un solo elemento. En la Figura 3.8 se ilustran estos componentes.

### **Abrazaderas de unión de tubos**

Estos elementos unen los tubos de los carros de desplazamiento transversal con los tubos de soporte de los servomotores y chumaceras. Son una doble abrazadera que coloca los tubos de soporte de los servomotores y chumaceras a 90° con respecto a los tubos de los carros de desplazamiento transversal. Las abrazaderas de unión de tubos pueden desplazarse y rotar sobre los tubos de los carros de desplazamiento transversal, y permiten que los tubos de soporte de los servomotores y chumaceras se desplacen y roten sobre ellas. En la Figura 3.9 se muestra una abrazadera de unión que conecta el tubo de un carro de desplazamiento transversal con un tubo de soporte de una chumacera.

## **3.3 Descripción de los elementos móviles del Banco KLT.**

Los elementos móviles transmiten la fuerza necesaria para hacer la apertura y cierre de las puertas del automóvil. Dentro de esta clasificación se encuentran las piezas de acoplamiento de los servomotores, que se mueven junto con el eje de estos actuadores, las abrazaderas de las chumaceras, y los elementos tubulares



**Figura 3.10** Elementos móviles del banco KLT. Se muestra la ubicación respecto a la estructura del banco de pruebas.

### **Brazos de los sistemas motrices.**

Cada sistema motriz del Banco KLT cuenta con un elemento tubular en forma de C al que se ha dado el nombre de Brazo del sistema motriz. Cada brazo está conectado al servomotor y a la chumacera correspondiente por medio de una pieza de acoplamiento y una abrazadera, respectivamente. Los brazos son los elementos que transmiten el movimiento de los servomotores a las puertas.

### **Pieza de acoplamiento del servomotor al brazo.**

Las piezas de acoplamiento son los elementos que se encargan de unir los ejes de los servomotores con los Brazos de los sistemas motrices. Las piezas de acoplamiento permiten que cada brazo se mueva junto con el eje del servomotor correspondiente.

### **Abrazaderas de unión de la chumacera al brazo.**

Estas abrazaderas permiten unir el brazo con la chumacera en cada sistema motriz. Esto le da un segundo apoyo a cada brazo en la parte inferior.

### **3.4 Descripción general del procedimiento que se sigue antes de comenzar la prueba de durabilidad con el Banco KLT.**

La posición de cada sistema motriz se varía por medio de los elementos de ajuste del Banco KLT. Para comenzar con la prueba los elementos de ajuste deben ser posicionados de acuerdo con las dimensiones del vehículo que será sometido a la prueba. Para determinar la posición en que serán colocados los elementos de ajuste del Banco KLT se estima la ubicación en la que se encuentran las bisagras de las puertas del automóvil. Con base en esta información se obtiene la distancia transversal y longitudinal a la que deben ser colocados los servomotores y chumaceras. Para ajustar la distancia transversal se mueven los carros de desplazamiento transversal y los tubos de soporte de las chumaceras o servomotores según sea el caso. La distancia longitudinal se ajusta al mover las abrazaderas de unión de tubos. Los ejes de movimiento de los servomotores y chumaceras de cada sistema motriz son colocados a la misma distancia longitudinal y transversal. En este procedimiento no se da inclinación a los servomotores y chumaceras de modo que sus ejes de movimiento quedan completamente verticales. Una vez que los servomotores y chumaceras se han colocado en la posición buscada, las puertas son sujetadas a los brazos.

Para comenzar la prueba el automóvil debe ser colocado en el Banco KLT. Para ingresar el auto en el banco de pruebas, se colocan las rampas de acceso para el vehículo y las plataformas de soporte a una distancia definida por la separación lateral de las ruedas. Al ajustar las rampas de acceso y las plataformas de soporte se debe procurar que haya la misma distancia del centro a cada plataforma para que al ingresar el vehículo éste quede centrado en el banco de pruebas. Una vez que las rampas y plataformas están ajustadas se hace avanzar el auto por las rampas y se coloca sobre las plataformas.

Antes de comenzar con la prueba, el sistema que actúa desde el interior debe ser colocado, esto puede realizarse antes o después de que el automóvil haya sido ingresado al Banco KLT.

Una vez que se han ajustado todos los elementos, el automóvil se ha colocado en el banco de pruebas, las puertas del auto han sido sujetadas a los brazos, y las rampas de acceso para el vehículo han sido retiradas, se despeja el área y se comienzan a realizar los ciclos de apertura y cierre.



---

# **CAPÍTULO 4**

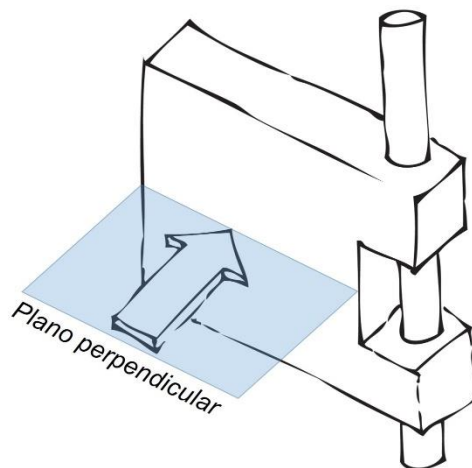
## **Definición del problema de alineación**

---

El problema de alineación se aborda como la búsqueda de un procedimiento que haga coincidir tres rectas imaginarias: el eje de rotación del servomotor, el de la chumacera, y el eje de la puerta del automóvil colocado en el Banco KLT.

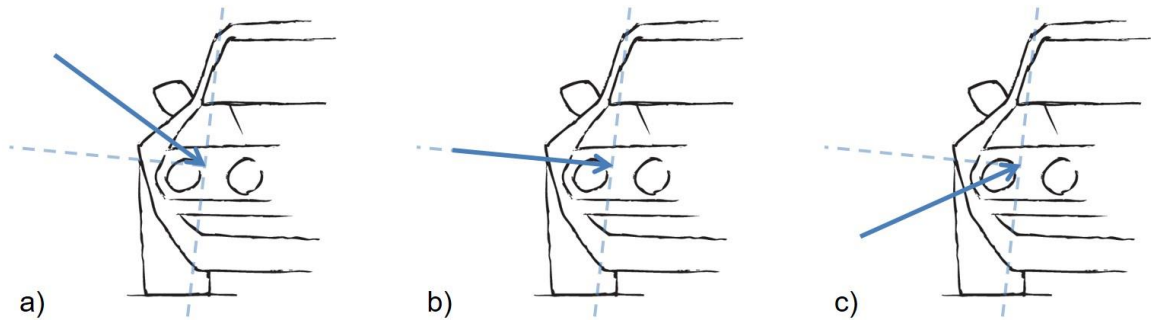
## 4.1 La importancia de una alineación adecuada del sistema de actuación del Banco KLT.

Uno de los aspectos que se busca evaluar con la prueba que se realiza con el Banco KLT es determinar cuáles son los efectos que los ciclos de apertura y cierre tienen en la durabilidad de las bisagras que conectan a la puerta con el resto de la carrocería. En la prueba se busca que las manijas, pestillos y bisagras sean afectados únicamente por las fuerzas propias de la dinámica de la puerta del automóvil. Por lo anterior se requiere minimizar el efecto de fuerzas externas que pudieran favorecer o desfavorecer la durabilidad de las bisagras. Estas fuerzas externas no deseadas podrían presentarse, por ejemplo, si el brazo del sistema motriz transmite una fuerza que levante la puerta, y de este modo se reduzca el efecto del peso de la puerta, o bien en el caso contrario si el brazo del sistema motriz transmite una carga hacia abajo que deba ser soportada por la bisagra de la puerta. Una forma de reducir el efecto de las fuerzas externas es asegurar que la fuerza que se transmite del brazo a la puerta esté contenida en un plano perpendicular al eje de rotación de la puerta, como se ilustra en la Figura 4.1. En la Figura 4.2, se muestra el esquema de la parte de un automóvil visto de frente y se ilustran tres diferentes situaciones de la fuerza con respecto al eje de rotación. En la Figura 4.2a) se ilustra una fuerza que carga hacia abajo los elementos de la puerta. En la Figura 4.2b) se muestra una fuerza que es perpendicular al eje de rotación de la puerta. También se presenta una fuerza que carga hacia arriba a los elementos de la puerta, ésta se muestra en la Figura 4.2c). En el caso que se ilustra en la Figura 4.2b) es en donde se minimiza el efecto de la fuerza sobre los elementos que constituyen a la puerta del automóvil.



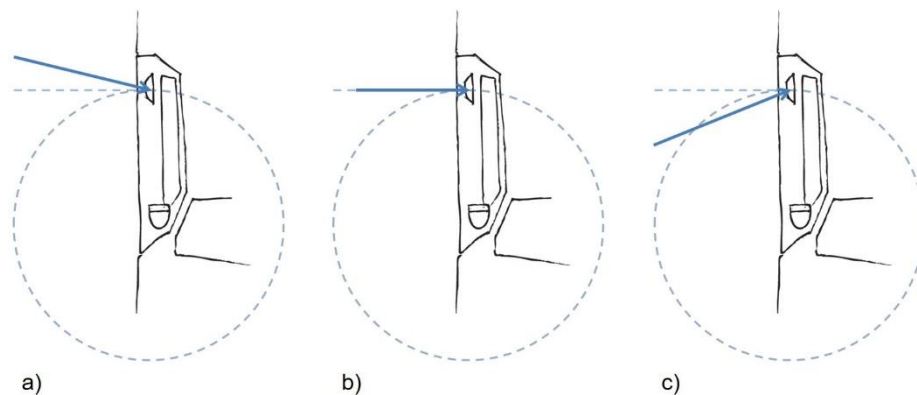


**Figura 4.1** Fuerza aplicada a la puerta del automóvil. La fuerza está contenida en un plano perpendicular al eje de rotación.



**Figura 4.2** Esquema de una parte de un automóvil visto de frente. a) Diagrama de una fuerza  $F$  con una componente que caga hacia abajo a la bisagra de la puerta. b) Diagrama de una fuerza  $F$  perpendicular al eje de rotación de la puerta. c) Diagrama de una fuerza  $F$  con una componente que caga hacia arriba a la bisagra de la puerta.

Por otro lado, la fuerza aplicada debe formar un ángulo de 90 grados con respecto a su brazo de palanca con el propósito de no inducir cargas radiales. Esta idea se ilustra en la Figura 4.3. En esta figura se muestra el esquema de la parte de un automóvil visto desde arriba. En las Figuras 4.3a) y 4.3c) se pueden ver dos casos en los que el centro de giro no coincide con el eje de rotación de la puerta. En la Figura 4.3b) se ilustra el caso en el que el centro de giro coincide con el eje de rotación de la puerta.



Al alinear adecuadamente el Banco KLT puede lograrse que la fuerza que cada sistema motriz transmite a la puerta correspondiente esté contenida en un plano perpendicular a su eje de rotación, y que el centro de giro de dicha fuerza este contenido en ese eje de rotación.

Si bien, la condición de alineación no simula exactamente el proceso real de apertura y cierre de las puertas de un automóvil, permite tener características estándar que pueden ser repetidas con mayor facilidad. En una prueba como la que se realiza con el Banco KLT se busca obtener resultados repetibles que se puedan comparar con los obtenidos durante una prueba y otra.

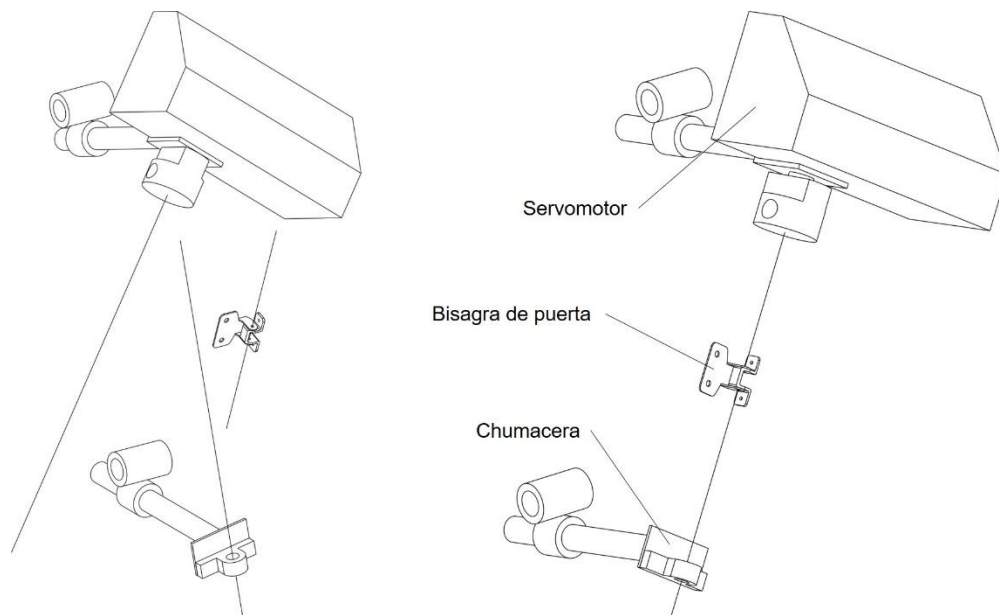
## **4.2 El problema de alineación del Banco KLT: Alinear los tres ejes de rotación de cada sistema motriz.**

La función principal en el proceso de alineación del Banco KLT es conectar tres ejes de rotación en cada sistema motriz. Estos ejes de rotación son:

- El eje de rotación de la puerta, que está definido físicamente por los pernos de las bisagras que la unen con la carrocería del automóvil. La puerta rota alrededor de estos pernos.
- El eje de rotación del servomotor, que está definido físicamente por la flecha de salida de la caja de reducción de este actuador.
- El eje de rotación de la chumacera, que está definido físicamente por el eje de revolución de su aro interno.

El eje de rotación de la puerta proporciona información de entrada para el proceso de alineación. La posición de este eje es fija, es decir, no será modificada durante el proceso de alineación. El eje de rotación de cada puerta definirá la posición objetivo para los ejes de rotación del servomotor y chumacera correspondientes. La posición de los ejes de rotación del servomotor y chumacera será modificada por medio de los elementos de ajuste del Banco KLT, como se describió en el capítulo anterior.

En la Figura 4.4 se puede ver la proyección de los ejes de rotación de un servomotor y una chumacera, así como una bisagra de puerta y el eje de rotación que define su perno. En esta figura se muestran dos situaciones, una en la que los tres ejes están en una posición desalineada general, y otra en donde estos ejes están alineados.



**Figura 4.4** Servomotor, chumacera, y bisagra. Se indican con una línea los ejes de rotación que definen estos elementos. Del lado izquierdo se muestra una posición general en la que los ejes de rotación están desalineados. Del lado derecho se muestra una posición en la que los ejes de rotación están alineados.

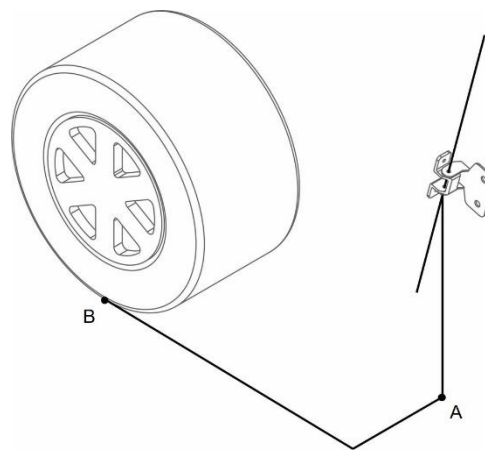
Los ejes de rotación son líneas imaginarias que pueden ser percibidas gracias al movimiento de ciertos elementos físicos. En el caso de los servomotores y chumaceras es sencillo visualizar sus ejes de rotación porque coinciden con los ejes de revolución de piezas cilíndricas que son evidentes. Por otra parte, en el caso de las puertas, para las que el eje de rotación está definido por los pernos de las bisagras, resulta complicado poder imaginar esta línea. Determinar de forma física la posición del eje de rotación de la puerta resulta complicado debido a que el perno está oculto y no es accesible.

La primera parte en el proceso de alineación de un sistema motriz es conocer la ubicación del eje de rotación de la puerta. Posteriormente se debe determinar la posición en que deben ser colocados los elementos de ajuste de tal forma que los otros dos ejes de rotación, el del servomotor y la chumacera, coincidan con el eje de rotación de la puerta. Finalmente, los ejes de rotación de los servomotores y chumaceras deben ser colocados en las posiciones específicas que fueron determinadas anteriormente.

### 4.3 Descripción del procedimiento empleado actualmente para colocar los elementos del sistema de actuación del Banco KLT.

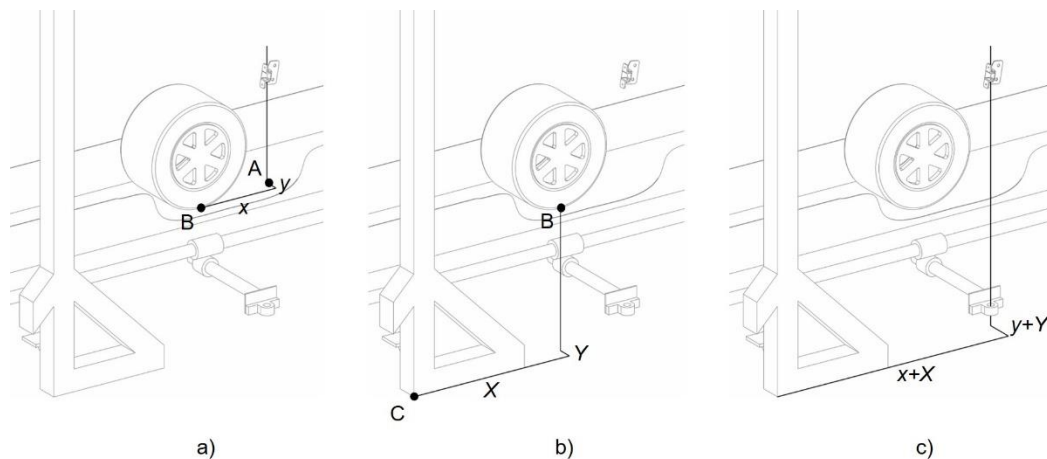
En esta sección se describirá el proceso que actualmente se sigue para definir la posición en que deben ser colocados los elementos del sistema de actuación del Banco KLT. La descripción está enfocada en indicar el momento en que son posicionados los elementos de ajuste que fueron descritos anteriormente. Esto ayudará a aclarar en qué parte del proceso de preparación para la prueba destructiva será integrado el nuevo proceso de alineación que se propone.

Como se mencionó anteriormente, antes de comenzar una prueba con el Banco KLT, la ubicación en que son colocados los servomotores y chumaceras de cada uno de sus sistemas motrices se decide por medio un procedimiento manual. Antes de que el auto sea ingresado al banco de pruebas se marcan en el piso las proyecciones de la parte central de las cabezas de los pernos de las bisagras inferiores de cada puerta. Posteriormente se obtiene la ubicación de las marcas de las proyecciones con respecto a un punto de la cara externa de la llanta más cercana a cada marca. El punto que se selecciona para cada llanta es el que se encuentra a la mitad de la superficie de contacto de la rueda y el piso. A este punto seleccionado se le denominará punto de referencia en la llanta. En la Figura 4.5 se ilustra la ubicación de la marca de la proyección de la cabeza de un perno con respecto a una llanta. El punto A que se indica en la Figura 4.5 corresponde a la proyección de la cabeza del perno, y el punto B corresponde al punto en la cara externa de la llanta respecto al cual se ubica el punto A, es decir, corresponde al punto de referencia en la llanta.



**Figura 4.5** Ubicación de la proyección de la cabeza de un perno con respecto a un punto de referencia de una llanta. El punto A corresponde a la marca de la proyección en el piso. El punto B representa el punto de referencia en la llanta.

Los servomotores y las chumaceras son posicionados de acuerdo con la información de la ubicación de las marcas. En esta parte del procedimiento los tubos de soporte para los servomotores y las chumaceras se dejan en posición horizontal, es decir no se les da alguna inclinación. Esto implica la consideración de que los ejes de rotación de las puertas del automóvil son completamente verticales. Para ubicar los servomotores y chumaceras se requiere conocer una distancia longitudinal a la que serán colocadas las abrazaderas de unión de tubos y una distancia transversal a la que serán colocados cada servomotor y chumacera de la abrazadera correspondiente. Para describir esta parte del procedimiento se empleará la Figura 4.6. A continuación se realizará la descripción para uno de los sistemas motrices que conforman el sistema de actuación del Banco KLT. El primer paso es encontrar la ubicación de la proyección del perno con respecto al punto de referencia en la cara de la llanta. En la Figura 4.6 se indica con la letra A la proyección del perno y con la letra B el punto de referencia en la llanta. La ubicación del punto A respecto al B se obtiene por medio de las distancias  $x$  y  $y$  indicadas en la Figura 4.6a). El siguiente paso es encontrar la ubicación del punto B respecto a un punto fijo en el Banco KLT. En la Figura 4.6 se indica con la letra C el punto fijo seleccionado en el Banco KLT. La ubicación del punto B respecto al C se obtiene por medio de las distancias  $X$  y  $Y$  indicadas en la Figura 4.6b). Posteriormente se determina la ubicación del punto A con respecto al punto C por medio de las distancias  $x+X$  y  $y+Y$ . Lo anterior se ilustra en la Figura 4.6c). La distancia longitudinal a la que debe ser colocadas las abrazaderas de unión de tubos es la distancia  $x+X$ . La distancia transversal a la que den ser colocados los ejes de rotación del servomotor y la chumacera corresponde a la distancia  $y+Y$ .



**Figura 4.6** a) Ubicación del Punto A respecto al Punto B. b) Ubicación del Punto B respecto al Punto C. c) Ubicación del Punto A respecto al Punto C. Las distancias  $x$ ,  $X$  y  $x+X$  representan las distancias longitudinales. Las distancias  $y$ ,  $Y$  y  $y+Y$  representan las distancias transversales.

El procedimiento que se sigue actualmente para posicionar los servomotores y las chumaceras contempla que estos elementos sean ubicados antes de que el vehículo sea ingresado al banco de pruebas. Esto tiene la ventaja de que es más fácil ajustar la posición de los elementos del Banco KLT sin la obstrucción del auto, sin embargo, no se puede garantizar con precisión la posición en la que quedará el automóvil al ser colocado en las plataformas de soporte. Idealmente el vehículo será colocado de tal forma que los puntos de referencia de cada llanta coincidan con lo que fue considerado para ubicar los elementos de ajuste del Banco KLT; y el auto estará perfectamente paralelo al banco de pruebas. En la mayoría de los casos esto no sucederá.

Para el procedimiento actual se considera de los ejes de rotación de las puertas son completamente verticales, sin embargo, éstos son oblicuos. El hecho de considerar que los ejes son verticales ocasiona imprecisiones en las pruebas. En la siguiente sección se profundizará más en las repercusiones de considerar vertical el eje de rotación de las puertas del automóvil.

---

# **CAPÍTULO 5**

**Propuesta analítico – experimental  
para alineación del Banco KLT**

---

---

## 5.1 Descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT.

El problema de alineación de cada sistema motriz consiste en hacer que coincidan tres líneas imaginarias. Estas líneas son los ejes de rotación del servomotor, la chumacera, y la puerta del automóvil. De los tres ejes de rotación, el de la puerta es considerado como fijo, y los otros dos ejes de rotación deberán hacerse coincidir con éste. A pesar de que no es posible ver los ejes de rotación es posible percibirlos y representarlos. Un eje de rotación existe cuando un cuerpo gira, de modo que el movimiento de los componentes puede revelar la ubicación de sus respectivos ejes de rotación.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al aplicar una técnica para dividir el problema de alinear el Banco KLT en subproblemas más sencillos. Con la descomposición funcional que se presenta se busca tener un entendimiento claro de las acciones que se pueden realizar para resolver el reto de diseño. Se busca encontrar qué es lo que los elementos funcionales pueden hacer para implementar la función general de un sistema, sin definir, en primera instancia, cómo hacerlo [3].

Existen dos pasos para realizar la descomposición funcional de un sistema. El primero de estos pasos consiste en representar el sistema como un modelo de caja negra. En este modelo se presenta el sistema como un elemento que realiza la función general y se averigua cuáles son los flujos de material, energía e información que entran al sistema y que salen de él. El segundo paso es revelar el contenido de la caja negra al mostrar las subfunciones en que podría dividirse la función general. [4]

### **El modelo de caja negra para el proceso de alineación del Banco KLT**

En la Figura 5.1 se muestra el proceso de alineación para uno de los sistemas motrices del Banco KLT representado como una caja negra. Esta representación muestra el sistema como un bloque funcional que recibe ciertas entradas de material, energía o información, y las convierte en la salida buscada. El modelo de caja negra que se presenta en la Figura 5.1 recibe a la entrada los elementos del Banco KLT, la puerta y su movimiento. A la salida de este modelo de caja negra se tienen las posiciones en las que deben ser colocados los elementos del banco de pruebas para lograr que el eje de rotación del servomotor y el de la chumacera coincidan con el eje de rotación de la puerta. Una forma usual de representar los flujos de material, energía e información en un modelo de caja negra es el siguiente [4]:

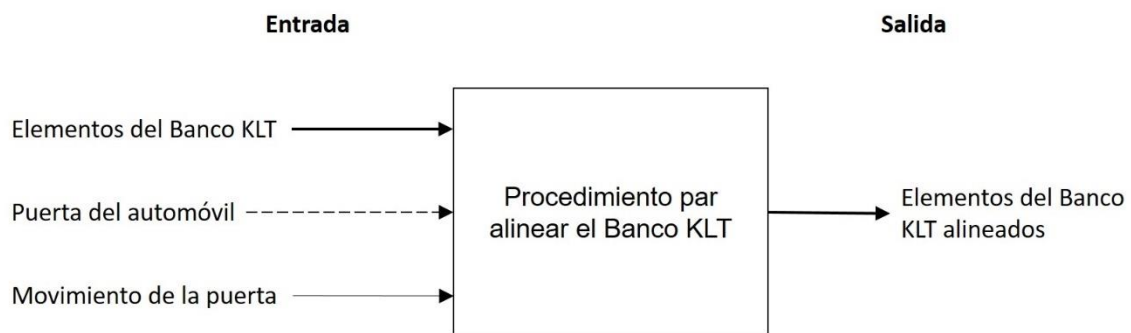


- Las líneas continuas delgadas denotan transferencia o conversión de energía,
- las líneas continuas gruesas representan movimiento de material dentro del sistema y
- las líneas discontinuas indican señales de flujo de control y realimentación dentro del sistema.

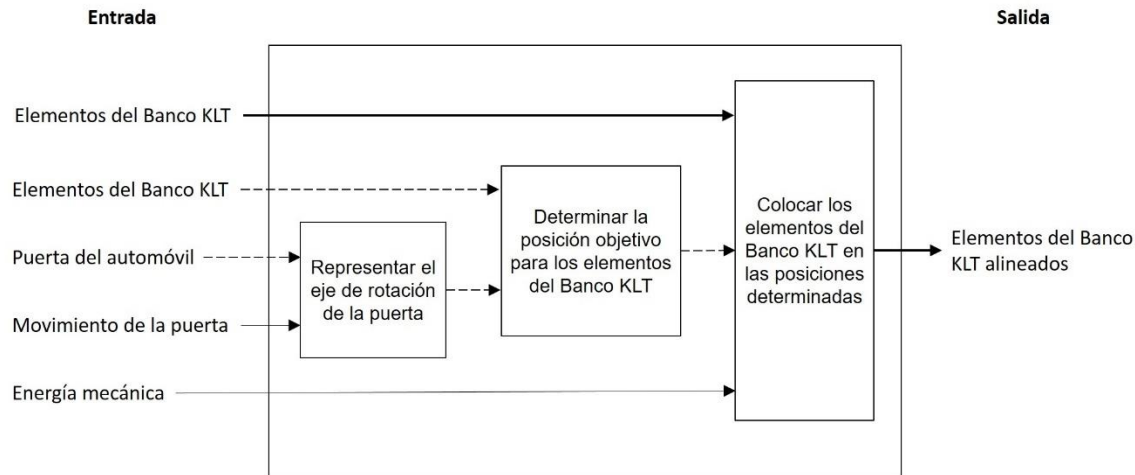
Una vez que se ha definido un modelo de caja negra para el sistema, el siguiente paso es dividir la función general presentada en subfunciones más concretas para obtener una descripción más específica de lo que el sistema puede hacer para lograr desempeñar su función principal.

### Refinamiento de la función general del proceso de alineación del Banco KLT en subfunciones específicas.

Como primera aproximación a la descomposición del problema de alineación del Banco KLT se dividió la función principal en tres subfunciones. La división en subfunciones puede realizarse repetidamente para refinar la descomposición del problema. En la Figura 5.2 se muestra la descomposición en subfunciones para el proceso de alineación. Dos de las subfunciones que se muestran en la Figura 5.2 serán divididas en subfunciones más elementales con el objetivo de describir de forma más detallada en que consiste la función principal.



**Figura 5.1** Modelo de caja negra para el Procedimiento para alinear el Banco KLT.



**Figura 5.2** Descomposición en funciones del Procedimiento para alinear el Banco KLT.

En la descomposición funcional que se presenta en la Figura 5.2 se muestran las subfunciones: *Representar el eje de rotación de la puerta*, *Determinar la posición objetivo para los elementos del Banco KLT*, y *Colocar los elementos del Banco KLT en las posiciones determinadas*. A continuación, se presentarán algunas alternativas para cumplir con las subfunciones de *Representar el eje de rotación de la puerta*, y *Determinar la posición objetivo para los elementos del Banco KLT*. Esto servirá para realizar un proceso de refinamiento de la descomposición funcional que dará una descripción más detallada del proceso de alineación del Banco KLT. En esta sección no se presentan alternativas para la subfunción de *Colocar los elementos del Banco KLT en las posiciones determinadas*. Se considera que esta subfunción ya es suficientemente elemental por lo que no será incluida en el proceso de refinamiento de la descomposición funcional.

### **Alternativas para representar el eje de rotación de la puerta.**

Algunas de las alternativas de solución pensadas para representar el eje de rotación de la puerta son:

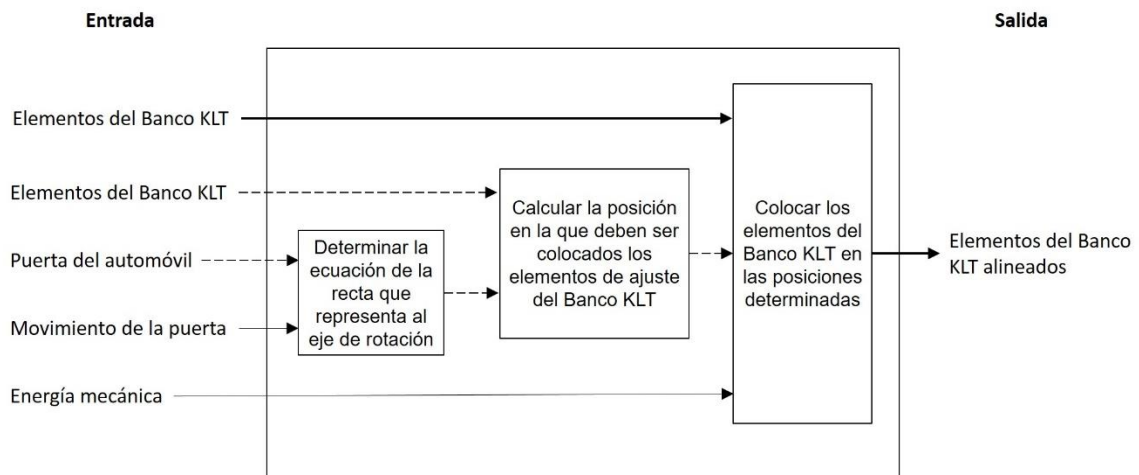
- Calcular la ubicación del eje de rotación por medio de un programa de reconocimiento de imágenes.
- Determinar la ecuación de la recta que representa al eje de rotación.
- Proyectar una imagen tridimensional del eje de rotación.

## Alternativas para determinar la posición objetivo para los elementos del Banco KLT.

Una vez que se ha representado el eje de rotación de la puerta es posible percibirlo. El siguiente paso es determinar la posición en que los elementos de ajuste del Banco KLT deben ser colocados para hacer que el eje de rotación del servomotor y el de la chumacera coincidan con el eje de movimiento de la puerta. Se pensó en las siguientes alternativas para llevar a cabo esta función:

- Dejar los elementos de ajuste del Banco KLT sin apretar, posicionar el servomotor y la chumacera de modo que queden alineados con la puerta y posteriormente fijar los elementos de ajuste.
- Calcular la posición en la que deben ser colocados los elementos de ajuste del Banco KLT para que el servomotor y la chumacera queden alineados con la puerta del automóvil.

Una vez que se cuenta con alternativas de solución para las subfunciones es posible continuar con el refinamiento de la descomposición del problema. Para el refinamiento se comenzó con una selección preliminar de las alternativas consideradas como más prometedoras y se hizo la descomposición de esas alternativas. En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos al refinar la descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT.



---

**Figura 5.3** Refinamiento de la descomposición en funciones del Procedimiento para alinear el Banco KLT.

## **5.2 Refinamiento de la descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT.**

Para hacer el refinamiento de la descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT se seleccionaron de forma preliminar alternativas de solución para algunas subfunciones. Las alternativas de solución seleccionadas se definieron como subfunciones del proceso de alineación. La descomposición de estas subfunciones se refinó en actividades más específicas. En la Figura 5.3 se muestra la descomposición en funciones del procedimiento para alinear el Banco KLT sustituyendo las subfunciones correspondientes con las alternativas seleccionadas de forma preliminar definidas.

Para cumplir con la subfunción de *Representar el eje de rotación de la puerta*, se tomó la decisión de explorar la solución de *Determinar la ecuación de la recta que representa al eje de rotación*, por ser la alternativa considerada más prometedora. Se consideró que ésta alternativa no requiere de equipo muy sofisticado.

Para realizar la subfunción de *Determinar la posición objetivo para los elementos del Banco KLT* se seleccionó la alternativa de *Calcular la posición en la que deben ser colocados los elementos de ajuste del Banco KLT para que el servomotor y la chumacera queden alineados con la puerta del automóvil*. Esta decisión se tomó al considerar que si se conoce de forma precisa en dónde hay que colocar cada elemento, será más sencillo obtener un resultado adecuado para la alineación.

Para hacer el refinamiento de la descomposición en funciones se analizó en primer lugar la subfunción *Determinar la ecuación de la recta que representa al eje de rotación*. Posteriormente, se abordó la subfunción *Calcular la posición objetivo para los elementos del Banco KLT*. En los apartados posteriores, se describen estas subfunciones como bloques funcionales más elementales.

### **Procedimiento para determinar la ecuación de la recta que representa al eje de rotación de la puerta.**

Existen diferentes formas de representar una recta en el espacio; algunas de éstas se resumen en las tablas 5.1, 5.2, y 5.3. En estas tablas se muestra el procedimiento que corresponde a cada alternativa y los elementos geométricos requeridos para llevar a cabo dicho procedimiento. Posteriormente se analizará la

**Tabla 5.1** Alternativas para obtener una ecuación que represente una recta en el espacio.

Alternativa	Elementos requeridos	Procedimiento
Recta que pasa por dos puntos	Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ Punto 2 $P_2(x_2, y_2, z_2)$	Obtener un sistema de números directores a partir de las coordenadas de los puntos dados. Definir la ecuación de la recta a partir de los números directores obtenidos, y las coordenadas de alguno de los puntos dados.
Recta paralela a una recta dada y que pasa por un punto.	Números directores $[a, b, c]$ Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$	Definir la ecuación de la recta a partir de los números directores de la recta dada, y las coordenadas del punto dado.
Recta que forma un ángulo con una recta y que pasa por un punto	Ángulos directores $[\alpha, \beta, \gamma]$ Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ Ángulo $\theta$	Obtener los números directores de la recta buscada a partir de los ángulos directores de la recta dada y del ángulo formado entre las dos rectas. Definir la ecuación de la recta a partir de los números directores obtenidos, y las coordenadas del punto dado.
Recta que forma un ángulo con una curva plana	Ecuación de la curva Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ Ángulo $\alpha$	Obtener la ecuación del plano que contiene a la curva, usualmente a partir de tres puntos de la curva. Transformar la ecuación a un sistema de dos dimensiones en el plano encontrado. Transformar las coordenadas del punto dado a un sistema de dos dimensiones en el plano encontrado. Encontrar la ecuación de la recta, en el sistema de dos dimensiones, que forma el ángulo dado con la curva en el punto. Transformar la ecuación de la recta a un sistema tridimensional.
Recta tangente a una curva plana	Ecuación de la curva Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$	Obtener la ecuación del plano que contiene a la curva, usualmente a partir de tres puntos de la curva. Transformar la ecuación a un sistema de dos dimensiones en el plano encontrado. Transformar las coordenadas del punto dado a un sistema de dos dimensiones en el plano encontrado. Encontrar la ecuación de la recta, en el sistema de dos dimensiones, que es tangente a la curva en el punto. Transformar la ecuación de la recta a un sistema tridimensional.
Recta normal a un plano y que contiene a un punto	Plano $Ax + By + Cz + D = 0$ Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$	Obtener los números directores de la recta buscada a partir de la ecuación del plano dada. Definir la ecuación de la recta a partir de los números directores obtenidos, y las coordenadas del punto dado.
Recta normal a una superficie y que contienen a un punto	Ecuación de la superficie Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$	Obtener la ecuación del plano tangente a la superficie dada en el punto dado. Obtener los números directores de la recta buscada a partir de la ecuación del plano obtenida. Definir la ecuación de la recta a partir de los números directores obtenidos, y las coordenadas del punto dado.
Recta que es bisectriz de dos rectas coplanarias	Recta 1 $\frac{x - x_1}{a_1} = \frac{y - y_1}{b_1} = \frac{z - z_1}{c_1}$ Recta 2 $\frac{x - x_2}{a_2} = \frac{y - y_2}{b_2} = \frac{z - z_2}{c_2}$	Obtener la ecuación del plano que contiene a las dos rectas dadas, usualmente a partir de dos puntos de una recta y un tercer punto de la otra recta. Obtener el punto de intersección de las dos rectas. Obtener el ángulo que forman las dos rectas dadas Obtener los números directores de la recta buscada a partir de los ángulos directores de la recta dada y del ángulo formado entre las dos rectas

Al analizar y comparar las alternativas presentadas en la Tabla 5.1 es posible ver que no todas las alternativas encontradas son compatibles con el problema que se busca resolver. En primera instancia, es posible descartar alternativas como la de la recta que forma un ángulo con una curva plana, debido a que asume que en el problema que se busca resolver no estarán involucradas curvas que sean coplanarias con el eje de rotación de la puerta.

Como se puede observar en la información presentada en la Tabla 5.1, para definir una recta en el espacio de forma analítica, y en general cualquier curva en el espacio, se requieren de dos ecuaciones que sean linealmente independientes. Se asume que la recta que representa al eje de rotación de la puerta estará definida con base en puntos, rectas, o planos, o bien alguna combinación de estos elementos. Por lo anterior se complementó el estudio con las tablas 5.2 y 5.3, en donde se muestran alternativas para obtener de forma analítica ecuaciones de planos y puntos, respectivamente.

**Tabla 5.2** Alternativas para obtener la ecuación de un plano.

Alternativa	Elementos requeridos	Procedimiento
Plano que se encuentra a una distancia de un plano dado	Plano $Ax + By + Cz + D = 0$ Distancia $d$	Seleccionar un punto arbitrario del plano y obtener un punto que se encuentre a la distancia dada en la dirección definida por los números directores de las rectas normales al plano.  Definir la ecuación del plano a partir de los números directores de las rectas normales al plano dado, y las coordenadas del punto obtenido.
Plano paralelo a un plano dado y que pasa por un punto	Plano $Ax + By + Cz + D = 0$ Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$	Definir la ecuación del plano a partir de los números directores de las rectas normales al plano dado, y las coordenadas del punto dado.
Plano que forma un ángulo con un plano dado	Plano $Ax + By + Cz + D = 0$ Recta de intersección $\frac{x - x_1}{a} = \frac{y - y_1}{b} = \frac{z - z_1}{c}$ Ángulo $\theta$	Obtener los números directores de las rectas normales al plano dado.  Obtener los números directores de la recta que sea normal a la recta de intersección y que forme el ángulo dado con las rectas normales al plano dado.  Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos, y las coordenadas del punto contenido en la recta de intersección.
Plano que contiene a tres puntos	Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ Punto 2 $P_2(x_2, y_2, z_2)$ Punto 3 $P_3(x_3, y_3, z_3)$	Obtener los números directores de la recta que pasa por los puntos 1 y 2.  Obtener los números directores de la recta que pasa por los puntos 2 y 3.  Obtener por medio del producto cruz de los números directores de las dos rectas mencionadas anteriormente, los números directores de las rectas normales al plano.  Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos por medio del producto cruz, y las coordenadas de cualquiera de los puntos dados.

**Tabla 5.2** (Continuación) Alternativas para obtener la ecuación de un plano.

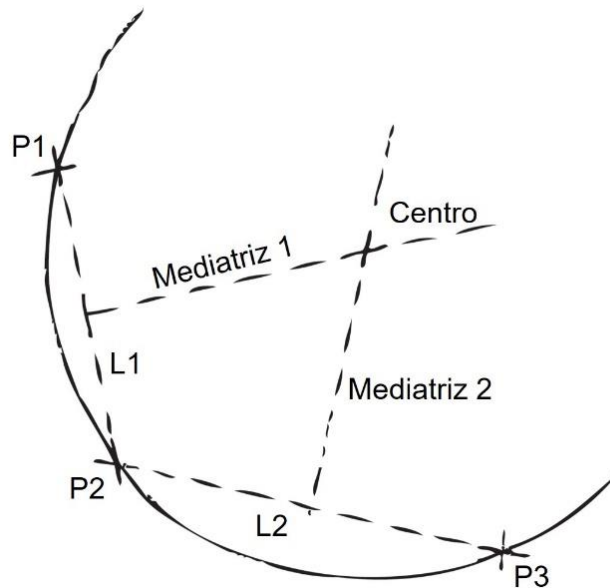
Alternativa	Elementos requeridos	Procedimiento
Plano que contiene a dos rectas coplanarias	<p>Recta 1 <math>\frac{x - x_1}{a_1} = \frac{y - y_1}{b_1} = \frac{z - z_1}{c_1}</math></p> <p>Recta 2 <math>\frac{x - x_2}{a_2} = \frac{y - y_2}{b_2} = \frac{z - z_2}{c_2}</math></p>	<p>Obtener por medio del producto cruz de los números directores de las dos rectas dadas, los números directores de las rectas normales al plano.</p> <p>Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos por medio del producto cruz, y las coordenadas de algún punto de las rectas dadas.</p>
Plano que contiene una recta y un punto	<p>Recta 1 <math>\frac{x - x_1}{a_1} = \frac{y - y_1}{b_1} = \frac{z - z_1}{c_1}</math></p> <p>Punto 1 <math>P_1(x_1, y_1, z_1)</math></p>	<p>Obtener los números directores de una recta que pase por el punto dado y cualquier punto de la recta dada.</p> <p>Obtener por medio del producto cruz de los números directores de la recta dada y la recta obtenida, los números directores de las rectas normales al plano.</p> <p>Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos por medio del producto cruz, y las coordenadas de algún punto de las rectas dadas.</p>
Plano que contiene a una curva plana	Ecuación de la curva	<p>Obtener las coordenadas de tres puntos que estén contenidos en la curva plana.</p> <p>Obtener los números directores de la recta que pasa por los puntos 1 y 2.</p> <p>Obtener los números directores de la recta que pasa por los puntos 2 y 3.</p> <p>Obtener por medio del producto cruz de los números directores de las dos rectas mencionadas anteriormente, los números directores de las rectas normales al plano.</p> <p>Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos por medio del producto cruz, y las coordenadas de cualquiera de los puntos dados.</p>
Plano tangente a una superficie	<p>Ecuación de la superficie</p> <p>Punto 1 <math>P_1(x_1, y_1, z_1)</math></p>	<p>Obtener la ecuación de la curva que resulta de proyectar la superficie en un plano paralelo a uno de los planos ordenados y que contiene el punto dado.</p> <p>Obtener los números directores de la recta tangente a la curva encontrada en el paso anterior.</p> <p>Obtener la ecuación de la curva que resulta de proyectar la superficie en un plano paralelo a otro de los planos ordenados y que contiene el punto dado.</p> <p>Obtener los números directores de la recta tangente a la curva encontrada en el paso anterior.</p> <p>Obtener por medio del producto cruz de los números directores de las dos rectas mencionadas anteriormente, los números directores de las rectas normales al plano.</p> <p>Definir la ecuación del plano a partir de los números directores obtenidos por medio del producto cruz, y las coordenadas del punto dado.</p>

Para definir un plano de forma analítica, y en general cualquier superficie, se requieren una sola ecuación, que puede obtenerse a partir de la combinación de ecuaciones de puntos y rectas, por ejemplo. En las tablas anteriores se han registrado alternativas para obtener ecuaciones de rectas y de planos. Para complementar el estudio, se recabó información de alternativas para obtener ecuaciones de puntos. Esta información se muestra en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3** Alternativas para obtener las coordenadas de un punto en el espacio.

Alternativa	Elementos requeridos	Procedimiento
Punto contenido en una curva	Ecuación de la curva Distancia al origen $r$	Resolver de forma simultanea las ecuaciones de la curva y la ecuación de la distancia de un punto al origen para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.
Punto contenido en un plano	Plano $Ax + By + Cz + D = 0$ Distancia al origen $r$	Resolver de forma simultanea la ecuación del plano y la ecuación de la distancia de un punto al origen para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.
Punto contenido en una superficie	Ecuación de la superficie Distancia al origen $r$	Resolver de forma simultanea la ecuación de la superficie y la ecuación de la distancia de un punto al origen para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.
Punto ubicado entre dos puntos de referencia	Punto 1 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ Punto 2 $P_2(x_2, y_2, z_2)$	Resolver la ecuación de punto medio en el espacio para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.
Centro de una circunferencia de referencia	Ecuación de la circunferencia	Escribir la ecuación de la circunferencia en forma canónica para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.
Centro de una esfera de referencia	Ecuación de la esfera	Escribir la ecuación de la esfera en forma canónica para obtener las coordenadas $x$ , $y$ y $z$ del punto.

Es posible determinar el centro de un arco de circunferencia si se conocen cuando menos tres puntos diferentes de la curva en cuestión, con base en lo siguiente:





**Figura 5.4** Método para encontrar el centro de un arco de circunferencia a partir de tres puntos contenidos en ella.

Sean  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ , tres puntos que pertenecen al lugar geométrico de una circunferencia o arco de circunferencia. Si  $L_1$  es el segmento de recta que une a los puntos  $P_1$  y  $P_2$ , y  $L_2$  el segmento de recta que une a los puntos  $P_2$  y  $P_3$ . El centro de la circunferencia o arco de circunferencia, se encuentra en el punto de intersección de las mediatrices de las rectas  $L_1$  y  $L_2$  [5], como se muestra en la Figura 5.4.

Por otra parte, también es posible conocer el plano en el que está contenido el arco de circunferencia que describe la trayectoria de alguna de las partículas de la puerta, si se conocen tres puntos diferentes contenidos en éste plano, como se enuncia a continuación:

Sean  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$ , tres puntos cualesquiera en el espacio. Existe un y solo un plano que contiene a los tres puntos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  [5].

De lo anterior se concluye que puede obtenerse la información necesaria para definir el eje de rotación de la puerta si se conocen tres puntos de la trayectoria circular que describe alguna de sus partículas. Con la información de estos tres puntos puede determinarse tanto el centro de la trayectoria circular como el plano que la contiene. Al conocer la ecuación del plano se tendrá la información de los números directores de la recta que se busca. La recta quedará completamente definida al conocer las coordenadas del centro de la trayectoria. El centro es el punto del plano que pertenece a la recta que define el eje de rotación de la puerta.

Las coordenadas de los tres puntos de la trayectoria circular de alguna de las partículas de la puerta deben obtenerse de forma experimental. Esto se puede conseguir al seleccionar un punto arbitrario de la puerta y medir sus coordenadas espaciales en tres posiciones diferentes del movimiento que describe la puerta [6].

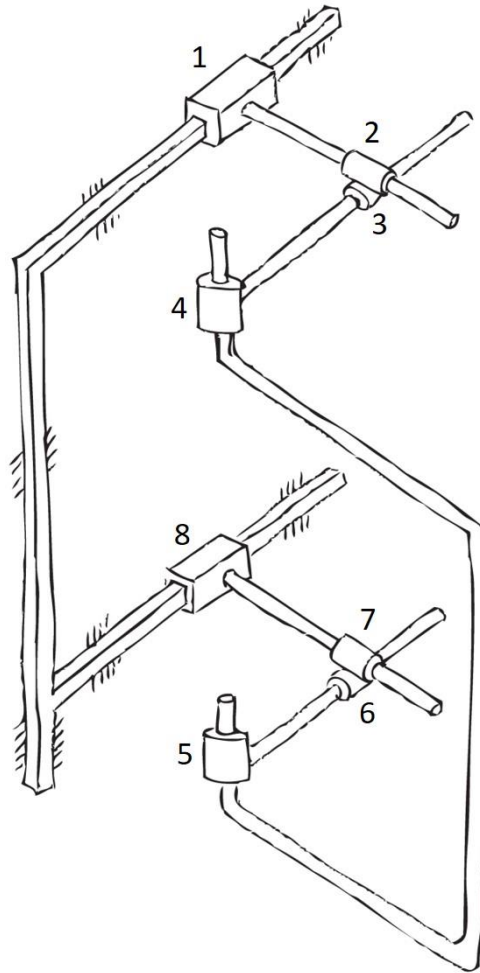
**Procedimiento para calcular la posición en la que deben ser colocados los elementos de ajuste del Banco KLT para que el servomotor y la chumacera queden alineados con la puerta del automóvil.**

La segunda subfunción identificada para el refinamiento de la descomposición funcional del problema de alineación del Banco KLT fue la de calcular la posición en la que deben ser colocados los elementos de ajuste del Banco KLT para que

---

En la Figura 5.5 se muestra el esquema de uno de los sistemas motrices del banco de pruebas. En este dibujo se simplifican las juntas y eslabones que componen el mecanismo del banco. Las juntas que se ilustran en la Figura 5.5 están numeradas y en la Tabla 5.4 se indica el tipo que corresponde a cada una de ellas.

Las juntas 1 y 8, que se representan como juntas prismáticas, se ajustan antes de ingresar el auto al Banco KLT y permanecen fijas durante el proceso de alienación de los sistemas motrices. Por otra parte, las juntas 2, 3, 6, y 7, son colocadas en diferente posición para buscar que el eje de rotación del sistema motriz quede correctamente alineado con el eje de las bisagras de la puerta del automóvil al que se aplicará la prueba. Las juntas 4 y 5 son juntas rotacionales que representan al servomotor y a la chumacera respectivamente.

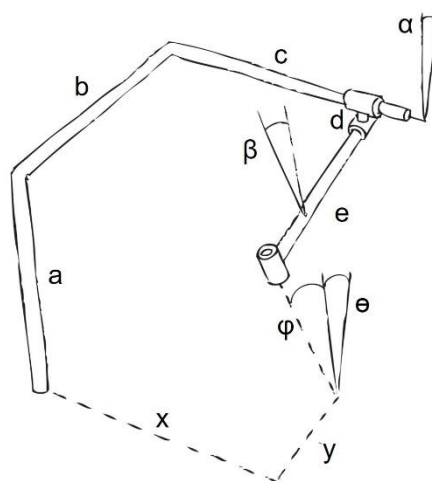


**Figura 5.5** Esquema de uno de los sistemas motrices del banco de pruebas. Las juntas cinemáticas aparecen numeradas.

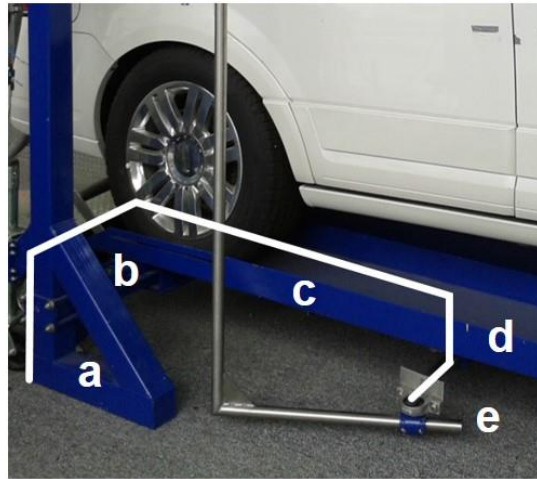
**Tabla 5.4** Tipos de juntas cinemáticas del mecanismo del sistema motriz del banco de pruebas para carrocerías.

Número de junta	Tipo de junta
1	Prismática
2	Cilíndrica
3	Cilíndrica
4	Rotacional
5	Rotacional
6	Cilíndrica
7	Cilíndrica
8	Prismática

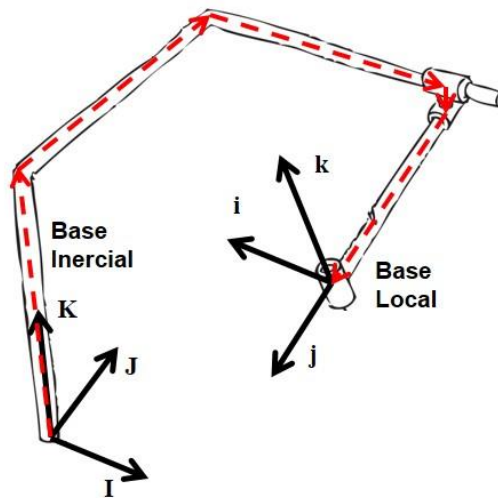
En la Figura 5.5 se puede observar que las juntas y eslabones que soportan al servomotor son semejantes a las que soportan a la chumacera. En ambos casos se tienen dos juntas cilíndricas seguidas de una rotacional, es decir un mecanismo CCR. El mecanismo puede dividirse en dos partes, una correspondiente al servomotor y la otra a la chumacera. Para simplificar el análisis se estudiará sólo una de las partes del mecanismo. La junta prismática no será considerada en este análisis debido a que permanece fija durante el proceso de alineación. La posición y la inclinación del servomotor y la chumacera debe ser definida por el eje de rotación de la puerta. El mecanismo CCR que se analizará, se muestra en la Figura 5.6. En la Figura 5.7 se muestra la parte en dónde se encuentran los eslabones indicadas en la Figura 5.6, y a la parte del banco de pruebas a la que corresponden, para el caso del mecanismo CCR de una de las chumaceras.



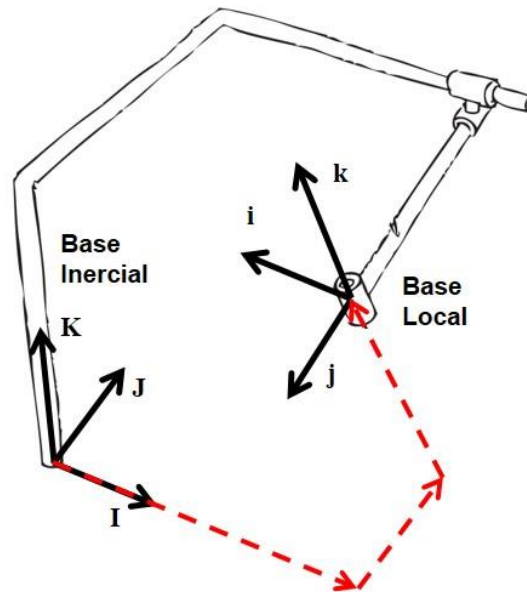
**Figura 5.6** Mecanismo CCR que se analizó para establecer la ecuación de lazo vectorial de la mitad de uno de los sistemas motrices.



**Figura 5.7** Ubicación de los eslabones representados en el mecanismo de la Figura 5.6, en el banco de pruebas de puertas de automóviles.



**Figura 5.8** Vectores correspondientes al miembro izquierdo de la ecuación de lazo vectorial. Los vectores conectan la base inercial con una base local colocada en la junta que representa a la chumacera o al servomotor. La trayectoria que conecta ambas bases recorre los eslabones del mecanismo. La trayectoria se indica con flechas segmentadas.



**Figura 5.9** Vectores correspondientes al miembro derecho de la ecuación de lazo vectorial. Los vectores conectan la base inercial con una base local colocada en la junta que representa a la chumacera o al servomotor. La trayectoria que conecta ambas bases sigue un camino externo a los eslabones del mecanismo. La trayectoria se indica con flechas segmentadas.

Para determinar los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , y las distancias  $c$  y  $e$ , se resuelve una ecuación de lazo vectorial que describe la posición de los eslabones del mecanismo de la Figura 5.6. La ecuación de lazo vectorial se forma al multiplicar las matrices de transformación requeridas para posicionar una base local desde la base inercial hasta la junta que representa a la chumacera o al servomotor por medio de movimientos básicos. La junta que representa a la chumacera o al servomotor debe tener la inclinación y posición definidas por el eje de rotación de la puerta. En la Figura 5.8 y la Figura 5.9 se indica la ubicación de la base inercial y la base local, empleadas para la construcción de la ecuación de lazo vectorial. El miembro izquierdo de la ecuación corresponde a la trayectoria que se muestra en la Figura 5.8. Esta trayectoria resulta de recorrer todo el mecanismo. El miembro derecho de la ecuación corresponde a la trayectoria que se muestra en la Figura 5.9.

Para formar la ecuación de lazo vectorial se designarán las traslaciones en las direcciones de los ejes  $x$ ,  $y$ , y  $z$  con subíndices  $z1$ ,  $z2$ , y  $z3$ , respectivamente [7]. Las rotaciones alrededor del eje  $x$ , se designarán con el subíndice  $z4$ , las rotaciones alrededor del eje  $y$  con  $z5$ , y alrededor del eje  $z$  con el subíndice  $z6$  [7].

---

Las matrices de transformación que corresponden a cada uno de los movimientos básicos se muestran a continuación.

Traslación a lo largo del eje  $x$

$$T_{z1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Traslación a lo largo del eje  $y$

$$T_{z2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Traslación a lo largo del eje  $z$

$$T_{z3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación a lo largo del eje  $x$

$$T_{z4} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x & 0 \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación a lo largo del eje  $y$

$$T_{z5} = \begin{bmatrix} \cos \theta_x & 0 & \sin \theta_x & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_x & 0 & \cos \theta_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Rotación a lo largo del eje  $z$

$$T_{z6} = \begin{bmatrix} \cos \theta_x & -\sin \theta_x & 0 & 0 \\ \sin \theta_x & \cos \theta_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La ecuación de lazo vectorial que describe al mecanismo de la Figura 5.6 es la siguiente:

$$T_{z3}(a)T_{z2}(b)T_{z1}(c)T_{z4}(\alpha)T_{z3}(d)T_{z2}(e)T_{z5}(\beta) = T_{z1}(x)T_{z2}(y)T_{z4}(\theta)T_{z5}(\varphi)T_{z3}(z)T_{z6}(\omega) \quad (1)$$

Al resolver la ec. (1) para encontrar los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$  y  $e$ , se obtiene la información necesaria para colocar los elementos del banco de pruebas de tal manera que el eje de rotación del sistema motriz esté alineado con el eje de rotación de la puerta. La ecuación de lazo vectorial tendrá que ser resuelta dos veces por cada sistema motriz, una para encontrar los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$  y  $e$  que corresponden al servomotor, y otra para encontrar los valores que corresponden a la chumacera.

En la siguiente sección se mostrarán los resultados que se obtuvieron para los valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$  y  $e$  para la chumacera de uno de los sistemas motrices, con base en datos medidos de forma experimental.

---



---

# CAPÍTULO 6

## Resultados

---

Se realizó un experimento para determinar la posición de las juntas y eslabones para alinear la chumacera de un sistema motriz con el eje de la bisagra de la puerta de una camioneta. Se seleccionó un punto arbitrario de la puerta en la zona de la manija. Se colocó un sistema de referencia  $x-y$  en el suelo para determinar con ayuda de una plomada la proyección del punto en el sistema de referencia y con base en esto obtener la coordenada en  $x$  y la coordenada en  $y$ . Para determinar la coordenada en  $z$  del punto seleccionado se midió la longitud de la cuerda de la plomada. Se registraron las coordenadas  $x$ ,  $y$ , y  $z$  del punto seleccionado para tres posiciones diferentes de la puerta y se realizó el proceso de alineación propuesto con esta información. Posteriormente se validaron los resultados con ayuda de una simulación por computadora.

---

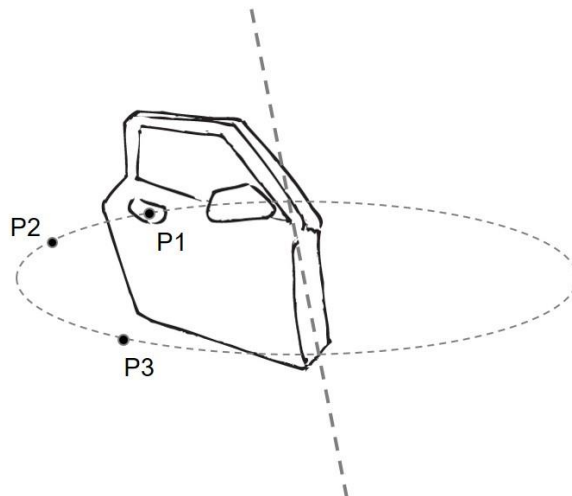
**Tabla 6.1** Datos experimentales de las coordenadas de un punto arbitrario de la puerta en tres posiciones diferentes.

Posición	Coordenada en $x$ , en [mm]	Coordenada en $y$ , en [mm]	Coordenada en $z$ , en [mm]
P1	697	328	1356
P2	934	-169	1371
P3	1117	-315	1376

En la Tabla 6.1 se muestran los resultados de las mediciones de las coordenadas del punto arbitrario de la puerta seleccionado para realizar la prueba. El punto P1 representa las coordenadas del punto seleccionado en la primera posición; el punto P2, las coordenadas en la segunda posición; y el punto P3 las coordenadas en la tercera posición. En la Figura 6.1 se ilustran los puntos P1, P2 y P3.

También se midieron las dimensiones del mecanismo para determinar, por medio de la ecuación de lazo vectorial, definida en el Capítulo 5, la posición de los elementos del sistema motriz del Banco KLT. Las dimensiones del mecanismo que representa al sistema motriz que se muestra en la Figura 5.6, se presentan en la Tabla 6.2.

Los resultados que se obtuvieron después de aplicar el procedimiento de alineación desarrollado se resumen en la Tabla 6.3.



**Figura 6.1** Tres diferentes puntos de la trayectoria de una partícula de la puerta de un auto. La trayectoria circular se define al abrir y cerrar la puerta.

**Tabla 6.2** Dimensiones del mecanismo presentado en la Figura 5.6.

Parámetro	Dimensión medida, en [mm]
a	312
b	668
d	80

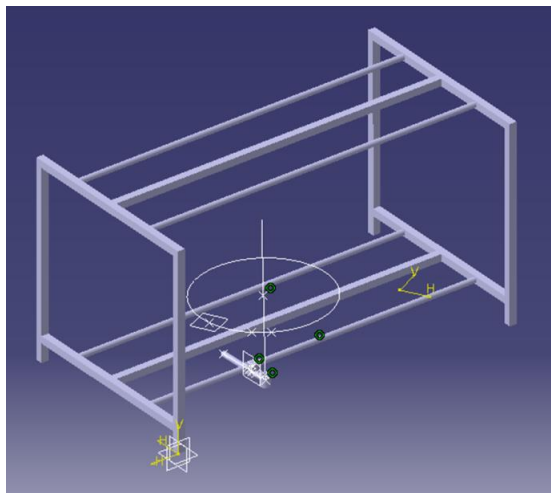
Al conocer los resultados presentados en la Tabla 6.2, es posible colocar los elementos del sistema motriz del Banco KLT en la posición correcta para lograr que el eje de rotación del sistema motriz esté alineado con el eje de la puerta de la camioneta para la cual se tomaron las mediciones experimentales.

Se empleó un software de diseño asistido por computadora para verificar los resultados obtenidos mediante el proceso analítico. Para hacer esto se realizó un modelo tridimensional del ensamble de algunas piezas del Banco KLT. En el modelo se incluyeron las piezas correspondientes a los elementos fijos y a los elementos de ajuste para posicionar una de las chumaceras. Una vez que se contó con el modelo tridimensional, se escribió un programa en el software de diseño para realizar la alineación de la chumacera.

El programa despliega una ventana en donde el usuario puede ingresar la información de las coordenadas de los puntos P1, P2, y P3 obtenidas de forma experimental. Posteriormente crea una recta de referencia fija que representa al eje de la puerta del automóvil basándose en la información de las coordenadas de los tres puntos. Finalmente ejecuta las acciones correspondientes para alinear el eje de la chumacera. Una vez que la alineación está terminada los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ , y las distancias c y e indicados en la Figura 5.6 se muestran en la ventana desplegada por el programa.

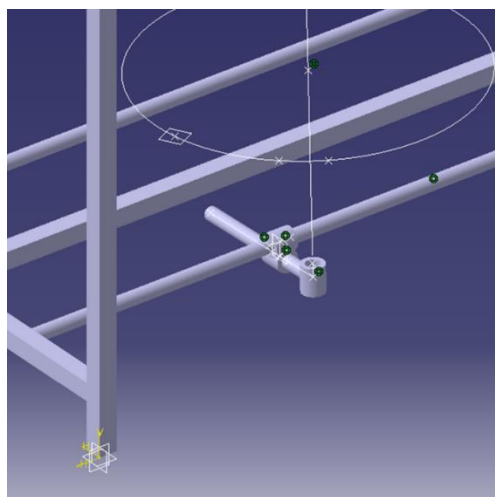
**Tabla 6.3** Resultados obtenidos al seguir el proceso de alineación propuesto.

Parámetro	Dimensión
c	1575.784 mm
e	258.245 mm



**Figura 6.2** Modelo tridimensional del Banco KLT.

El modelo tridimensional del Banco KLT realizado para hacer la verificación se muestra en la Figura 6.2. Un acercamiento del sistema motriz en donde se aprecia de mejor manera el eje de rotación de la puerta se muestra en la Figura 6.3. En la Figura 6.4 se muestra la ventana desplegada por el programa con los resultados obtenidos para los puntos de la Tabla 6.1. Los resultados obtenidos coinciden con los que se presentan en la Tabla 6.3. El programa desarrollado se incluye en el Apéndice A de éste documento.



**Figura 6.3** Acercamiento del sistema motriz del modelo tridimensional del Banco KLT.

Programa para alinear banco de pruebas

Punto1  
x= 697 mm y= 328 mm z= 1356 mm

Punto2  
x= 934 mm y= -169 mm z= 1371 mm

Punto3  
x= 1117 mm y= -315 mm z= 1376 mm

Calcular

Resultados  
Alfa = 1,586deg C = 1574,784mm  
Beta = 0,3deg E = 258,245mm

**Figura 6.4** Ventana desplegada para ingresar las coordenadas de los puntos P1, P2, y P3, y realizar los cálculos de los valores de los parámetros de  $\alpha$ ,  $\beta$ , c y e.

---

---

# CAPÍTULO 7

## Propuesta de diseño de herramienta

---

Una vez que se ha desarrollado el procedimiento analítico-experimental para alinear de forma correcta el sistema de actuación del Banco KLT, surgen nuevos retos de diseño que deben ser resueltos para realizar la tarea buscada. Uno de estos retos es desarrollar un sistema de medición que permita obtener de forma más sencilla las coordenadas tridimensionales de los puntos de la puerta del automóvil. La obtención de esta información es crítica para determinar la ubicación y orientación del eje de rotación de la puerta, y es fundamental para poder realizar el procedimiento de alineación del banco de pruebas. En este capítulo se propone un concepto de herramienta para obtener las coordenadas tridimensionales de los puntos de la puerta.

El proceso que se siguió para la generación del concepto del sistema de medición de coordenadas tridimensionales comenzó con la declaración de la misión del sistema y la identificación de las necesidades del usuario. Posteriormente se realizó la descomposición funcional del sistema de medición y se generaron diversos conceptos para cumplir con la misión y satisfacer las necesidades identificadas.

---

---

## 7.1 Declaración de la misión del sistema de medición de coordenadas tridimensionales.

En la Tabla 7.1 se muestra la declaración de la misión para el Sistema de medición de coordenadas espaciales de puntos de puertas de automóviles.

**Tabla 7.1** Declaración de la misión para el Sistema de medición de coordenadas tridimensionales.

---

<b>Declaración de la misión: Sistema de medición de coordenadas tridimensionales.</b>	
<b>Descripción del sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dispositivo para obtener coordenadas espaciales de puntos de las puertas laterales de los automóviles colocados en el Banco KLT.</li></ul>
<b>Propuesta de valor</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permite ahorrar tiempo en la obtención de las coordenadas espaciales de los puntos de las puertas del automóvil que será evaluado.</li><li>• Mejora los resultados de la obtención de las coordenadas espaciales de los puntos.</li></ul>
<b>Suposiciones y restricciones</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizará componentes electrónicos. Como sensores o emisores de láser.</li><li>• Será semiautomático. El usuario colocará la puerta en las diferentes posiciones y accionará el sistema para tomar la medición.</li><li>• La alineación se realizará una vez que el auto este colocado en el Banco KLT.</li><li>• El sistema no permanecerá en la cámara de clima durante la prueba.</li><li>• Las coordenadas espaciales se obtendrán respecto a una base inercial definida en la estructura del banco de pruebas.</li><li>• El dispositivo no interferirá con el movimiento de las puertas del automóvil.</li></ul>
<b>Involucrados</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Operador del Banco KLT.</li><li>• Técnico encargado de ajustar el Banco KLT.</li><li>• Instaladores del Banco KLT.</li></ul>

---



## 7.2 Identificación de las necesidades del usuario.

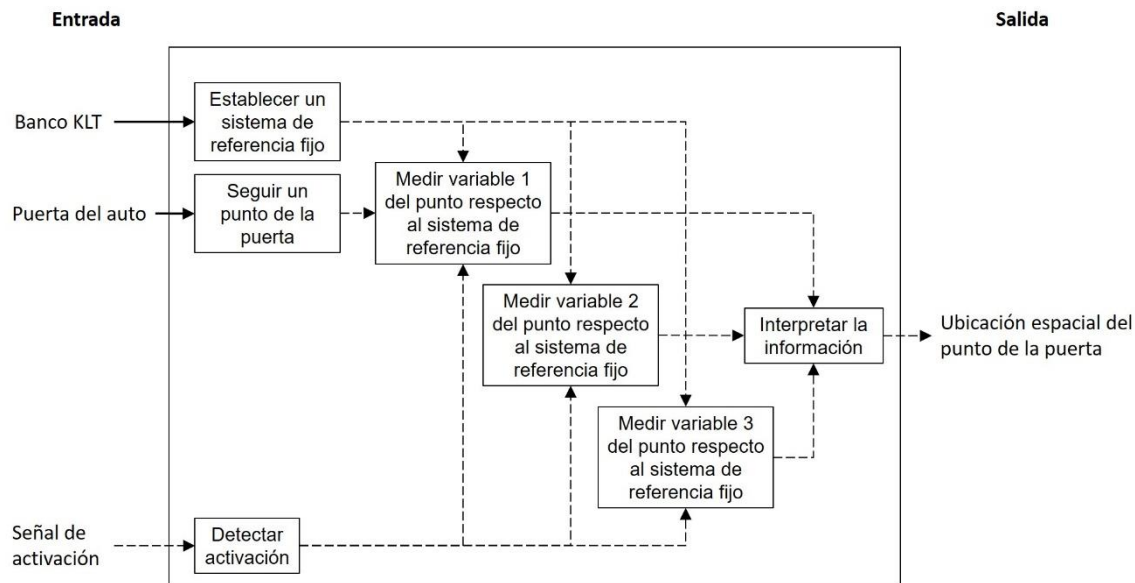
En la Tabla 7.2 se muestran las necesidades que se detectó que el sistema de medición debe satisfacer. En la Tabla 7.2 se asigna un número para indicar la importancia relativa de cada una de las necesidades detectadas. Se utiliza una numeración del 1 al 3 en donde 1 indica la mayor importancia. Las necesidades latentes se identifican con un signo de admiración (!) en seguida del número de calificación de importancia.

**Tabla 7.2** Necesidades del usuario para el Sistema de medición de coordenadas tridimensionales.

#	El sistema	Imp
1	Ayuda a obtener las coordenadas tridimensionales con mayor precisión.	2
2	Ayuda a obtener las coordenadas tridimensionales con mayor rapidez.	2
3	Funciona con diferentes modelos de automóviles.	1
4	Funciona adecuadamente cuando el Banco KLT está dentro de la cámara de clima.	1
5	Es fácil de usar.	2
6	Es fácil de transportar.	3
7	Es ligero.	3
8	Tiene tamaño reducido.	3
9	Es fácil de colocar.	3!
10	Es fácil de retirar.	3!
11	Notifica al usuario cuando una medición ha sido realizada.	3!
12	Es robusto.	2
13	Es confiable.	1
14	Entrega resultados repetibles.	2
15	Almacena la información de cada medición en un medio extraíble (por ejemplo: Memoria USB, tarjeta SD, etc.).	3!
16	Utiliza baterías recargables para obtener la energía eléctrica.	2
17	Recibe mantenimiento fácilmente.	3
18	Su funcionamiento es intuitivo.	2
19	Permite conocer la posición relativa en que se encuentra respecto al Banco KLT.	3!
20	Permite que un solo usuario obtenga las coordenadas tridimensionales.	3!

## 7.3 Descomposición funcional del sistema de medición de coordenadas tridimensionales.

La descomposición del subsistema de medición se muestra en la Figura 7.1



**Figura 7.1** Descomposición funcional del subsistema de medición de coordenadas tridimensionales.

## 7.4 Propuesta de nuevos conceptos.

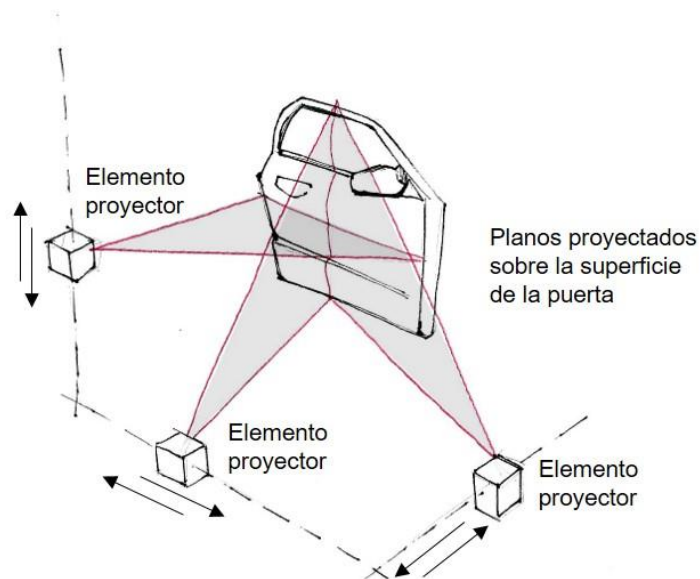
Se consideraron las siguientes alternativas de solución para la actividad de medir las variables asociadas con la ubicación espacial de los puntos de la puerta.

- Telémetro
- Proyección de figuras desde el punto móvil hacia un punto fijo
- Proyección de figuras desde un punto fijo hacia el punto móvil
- Triangulación
- Reconocimiento de imágenes
- Comparación con un patrón de medición
- Medición de posición angular de un elemento con dimensiones conocidas
- Medición de posición lineal de un elemento con dimensiones conocidas

A continuación, se describen algunos de los conceptos que se generaron para el Sistema de medición de coordenadas tridimensionales y se presentan los bosquejos correspondientes.

### Proyección de figuras desde tres puntos conocidos hacia el punto móvil en la puerta del auto.

Se proyectan planos paralelos a los planos coordenados que al intersecar con la superficie de la puerta forman líneas. La posición de los elementos que proyectan los planos puede ajustarse hasta hacer que el punto de intersección de las tres líneas coincida con el punto de la puerta seleccionado. Los elementos proyectores se desplazan por rieles paralelos a los ejes coordenados y es posible medir su posición lineal. Con base en la posición lineal de cada proyector se obtiene la coordenada en  $x$ , la coordenada en  $y$ , y la coordenada en  $z$  del punto. En la Figura 7.2 se muestra una ilustración de este concepto.

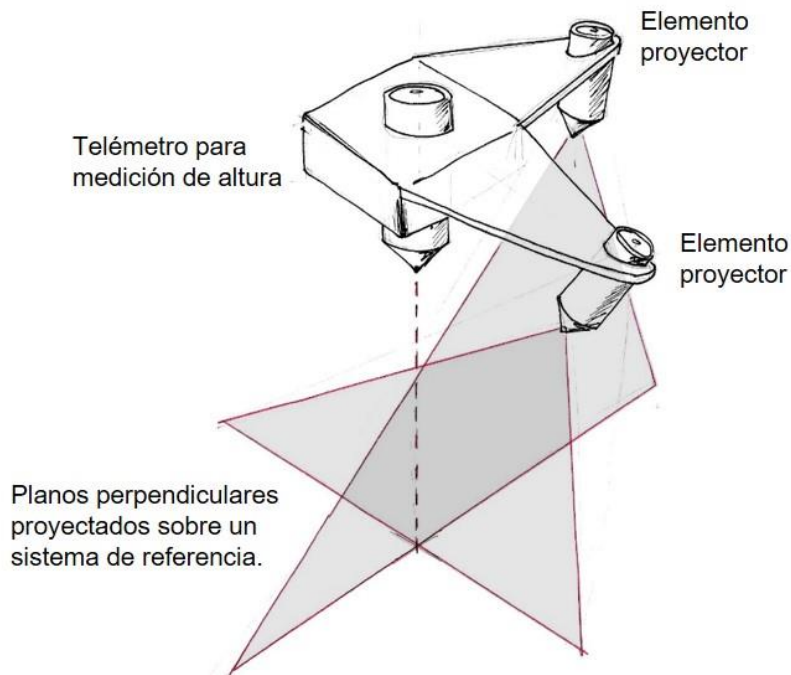


**Figura 7.2** Proyección de planos desde tres puntos conocidos del Banco KLT hacia el punto seleccionado de la puerta del automóvil.

---

## Proyección de figuras desde el punto móvil en la puerta del auto hacia un sistema de referencia y medición de distancia con telémetro.

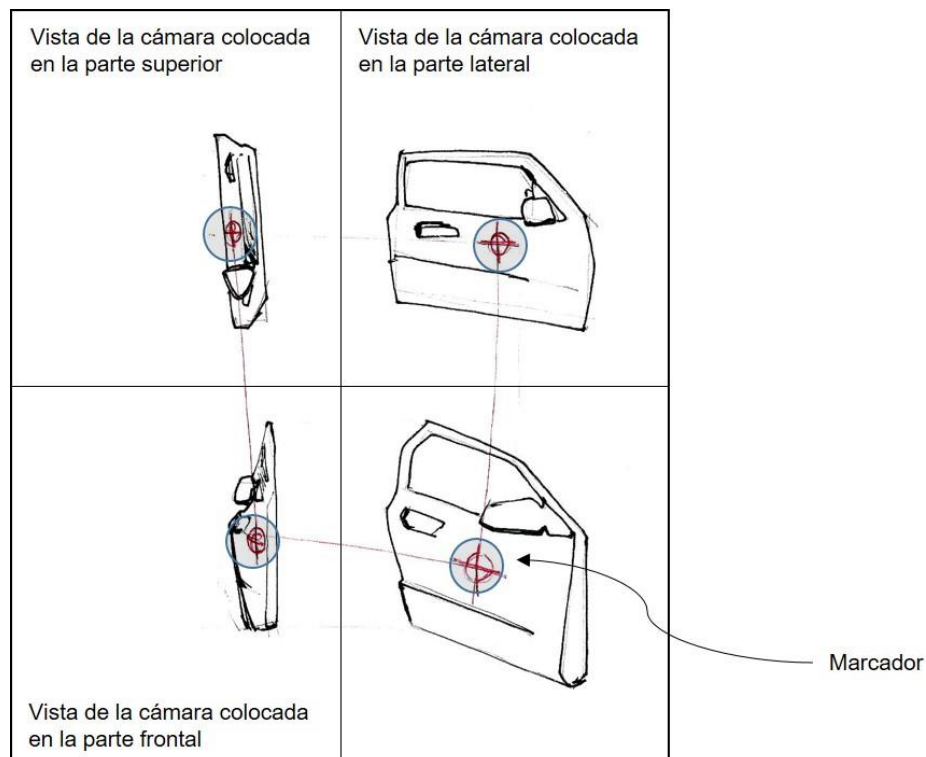
Se proyectan dos planos perpendiculares desde el punto móvil en la puerta hacia un sistema de referencia en el suelo, que puede ser una cuadrícula. Al intersecar los planos con el suelo, se forman dos líneas que se cruzan. El punto en donde las líneas se cruzan permite obtener las coordenadas en el eje  $x$  y en el eje  $y$ . La coordenada en el eje  $z$  se obtiene a partir de la información proporcionada por un telémetro que mide la altura. Los elementos que proyectan los planos y el sensor con el que se medirá la altura estarán montados en una base como se muestra en la Figura 7.3. Esta base se sujetará a la puerta del automóvil.



**Figura 7.3** Proyección de planos perpendiculares desde el punto seleccionado de la puerta del auto hacia un sistema de referencia  $x$ - $y$  en el suelo. La coordenada en el eje  $z$  se obtiene a partir de la medición de la altura realizada con un telémetro.

## Reconocimiento con cámaras digitales de una figura predefinida colocada en el punto móvil de la puerta del auto.

Se coloca una figura definida previamente en el punto móvil de la puerta que se desea seguir. La figura funciona como un marcador para que un arreglo de cámaras digitales lo detecte. Por medio de algún software se calcula su posición. El marcador puede ser un círculo contrastante o algún elemento que simplifique su reconocimiento por las cámaras. En la Figura 7.4 se ilustra éste concepto.

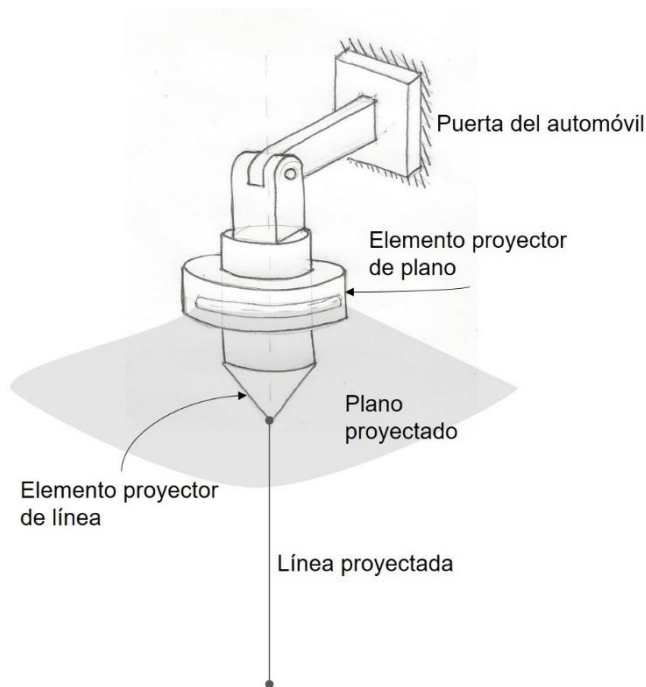


**Figura 7.4** Reconocimiento con cámaras digitales de un marcador colocado en la puerta del auto. Se emplea un arreglo de cámaras para obtener un sistema de tres coordenadas que permita conocer la ubicación espacial del marcador.

---

## Proyección de figuras desde el punto móvil en la puerta del auto hacia un sistema de referencia.

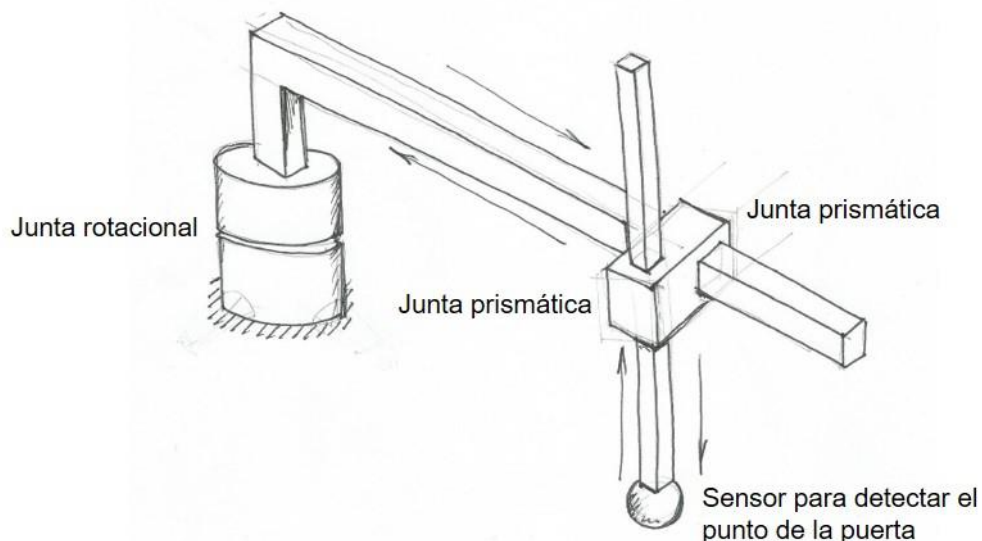
Para el funcionamiento de éste concepto se requiere colocar dos paneles ortogonales entre sí, con marcas para registrar medidas. Uno de ellos se coloca en el piso y el otro en posición vertical. De forma similar que con el concepto mostrado en la Figura 7.3, en este concepto se propone montar en una base colocada en la puerta del auto, elementos que proyectan figuras. Uno de los elementos proyectará una línea que al intersectar el panel de referencia colocado en el piso formará un punto que permitirá registrar la coordenada en el eje  $x$  y la coordenada en el eje  $y$  del punto de la puerta. El otro de los elementos, proyectará un plano que formará una línea en el panel vertical y permitirá registrar la altura a la que se encuentra el punto, y obtener así la coordenada en el eje  $z$ . En la Figura 7.5 se muestra este concepto.



**Figura 7.5** Proyección de una línea y un punto hacia dos paneles ortogonales. La línea proyectada en el panel vertical permite registrar la altura y el punto proyectado en el panel horizontal las coordenadas en  $x$  y en  $y$ .

### Medición de la posición de los eslabones de un mecanismo para obtención de coordenadas cilíndricas del punto.

Se miden las posiciones de los eslabones de un mecanismo que cuenta con un sensor en uno de sus extremos utilizado para detectar el punto de la puerta que será ubicado. El mecanismo está formado por una junta rotacional y dos juntas prismáticas. Al medir la posición angular de la junta rotacional se obtiene el ángulo  $\varphi$  de un sistema de coordenadas cilíndricas. Al medir los desplazamientos lineales de las otras juntas se obtiene el radio  $\rho$ , y la altura  $z$  del sistema de coordenadas. En la Figura 7.6 se puede observar una ilustración del mecanismo para obtención de coordenadas polares.

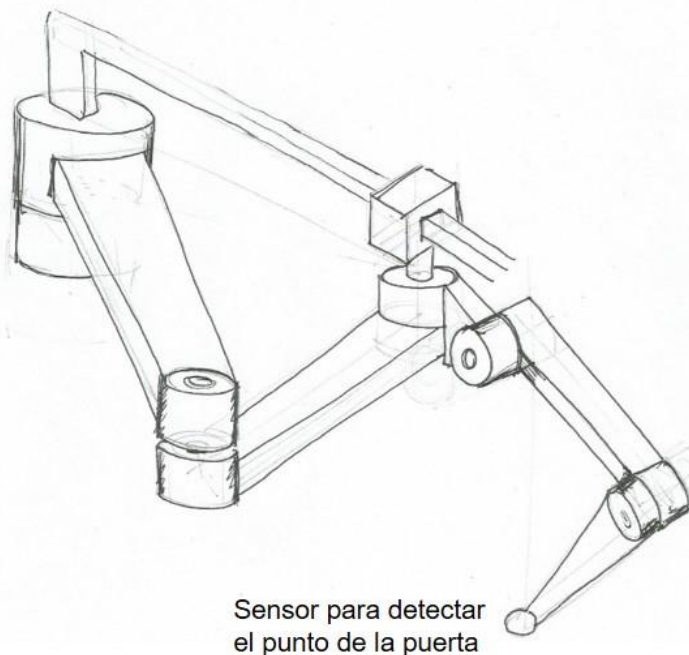


**Figura 7.6** Un sensor en el extremo de un mecanismo cilíndrico detecta el punto de la puerta del auto al tocarlo o aproximarse a él. Al medir la posición de los elementos del mecanismo es posible obtener las coordenadas cilíndricas del punto.

---

## Medición de la posición angular de los eslabones de un mecanismo colocado en la parte superior del Banco KLT.

Este concepto es semejante al mostrado en la Figura 7.6. En este caso se propone emplear sólo juntas rotacionales. Se pueden agregar correderas, como se muestra en la Figura 7.7 para guiar el movimiento del mecanismo y soportar su peso. Al conocer la posición de los eslabones y sus dimensiones es posible obtener las coordenadas del extremo del último eslabón del mecanismo. En este extremo se coloca un sensor que permita detectar el punto de la puerta. Al conocer las coordenadas del extremo del mecanismo se conocerán las coordenadas del punto de la puerta que se busca ubicar.

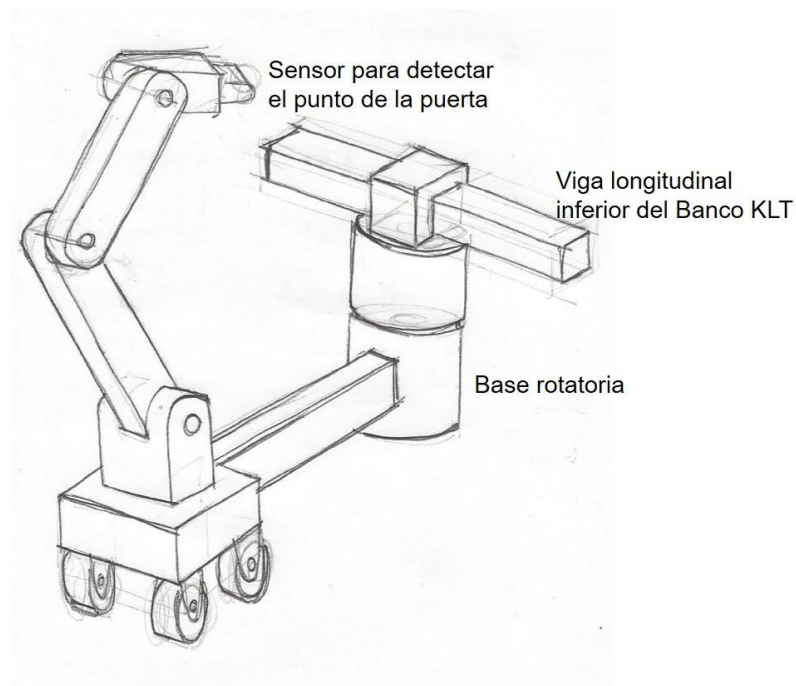


**Figura 7.7** Mecanismo formado por eslabones de dimensiones conocidas y juntas rotacionales. Al medir la posición de los eslabones se obtienen las coordenadas del punto extremos del mecanismo. Cuando el punto extremo coincide con el punto de la puerta es posible conocer las coordenadas de éste último.



### Medición de la posición angular de los eslabones de un mecanismo colocado en la parte inferior del Banco KLT.

Esta solución incluye una base que rota instrumentada para medir su posición angular, de forma semejante a lo que se propone en el concepto de la Figura 7.6. En este caso se sustituyen los eslabones con juntas prismáticas por eslabones con juntas rotacionales como se muestra en la Figura 7.8. En la parte extrema del mecanismo se coloca un sensor para detectar el punto de la puerta que se busca ubicar. Se mide la posición angular de los tres eslabones para ubicar el punto. En este concepto se propone sujetar el dispositivo a la viga longitudinal inferior del Banco KLT. El mecanismo cuenta con un carro en uno de los extremos del primer eslabón que ayuda a cargar el peso de los otros eslabones.



**Figura 7.8** Mecanismo con tres juntas rotacionales y un sensor en el extremo para detectar la ubicación del punto en la puerta del auto. El mecanismo se sujeta al Banco KLT en la viga longitudinal inferior.

---

## **7.5 Selección de concepto para ser desarrollado como trabajo a futuro.**

El concepto seleccionado para ser desarrollado como trabajo a futuro es el que se muestra en la Figura 7.8. Su diseño tipo carro hace que sea fácil de transportar y que su peso sea un factor menos crítico. Es fácil de colocar y retirar gracias a su característica de ser montado en la parte inferior del Banco KLT. Adicionalmente, esta característica evita la necesidad de cargar el dispositivo y colocarlo a cierta altura, lo que es un proceso tardado y riesgoso para el operario. A pesar de no ser el concepto que luce más compacto puede diseñarse de modo que sea abatible y reducir el espacio que ocupa al ser transportado y almacenado.

Este concepto es uno de los que basa la obtención de las coordenadas del punto en la medición de la posición de sus eslabones. Medir la posición de eslabones es un proceso más susceptible a ser automatizado, en comparación con los procesos que requieren proyectar figuras sobre alguna superficie, lo que es una característica muy favorable. Medir de forma automática la posición de eslabones, requiere, en general, de equipo menos sofisticado.

Al analizar los conceptos generados, se consideró que los dispositivos que son colocados en la estructura del Banco KLT dependen en menor grado de las características de la puerta. Lo que los hace más versátiles y adaptables a diferentes modelos de auto.

---

# Conclusiones

---

El procedimiento descrito permite determinar la posición en la que deben ser colocados los elementos del Banco KLT, de tal forma que el eje de rotación del sistema motriz quede correctamente alineado con el eje de rotación de la puerta del automóvil al que se le realizará la prueba. Esto ayudará a obtener mejores resultados en las pruebas y a aumentar la vida útil de los elementos del banco de pruebas, lo que traerá beneficios al reducir la frecuencia del mantenimiento y remplazo de piezas.

Para aplicar el procedimiento descrito, se requiere que el automóvil esté colocado en el banco de pruebas. Esta condición puede dificultar el acceso del operador a los elementos que se requieren posicionar.

El procedimiento por medio del cual se obtuvieron las coordenadas que se muestran en la Tabla 6.1, es un método manual con una probabilidad considerable de presentar errores de medición. Sería conveniente diseñar y construir instrumentos especializados para realizar estas mediciones con una mejor precisión. Con estos instrumentos podría reducirse la probabilidad de cometer errores de medición.

Las mediciones que se presentan en la Tabla 6.1 fueron tomadas de una camioneta a la que se le retiró el motor y algunos otros componentes. Esta situación ocasionó que la posición de la camioneta no fuera la habitual por lo que no fue posible comparar los resultados con valores teóricos.

Los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, pero se requiere continuar el trabajo en la resolución del problema planteado para hacer que la alineación del eje de rotación del sistema motriz del banco de pruebas y el eje de rotación de la puerta del automóvil sea más sencillo y pueda ser realizado de forma más veloz.

---

---

# Referencias

---

- [1] D. Mercado, R. Peralta, M. López, A. Ramírez, R. Reséndiz, D. Ibarra, V. Borja, V. González. "Diseño conceptual de un banco de pruebas para validación de carrocerías". Memorias del XIX congreso internacional anual de la SOMIM (2013) 156-164.
- [2] D. Mercado, R. Peralta, Diseño y construcción de un banco de pruebas para validación de carrocerías. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México (2013).
- [3] CROSS, Nigel. Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos. Limusa Wiley. México, 2010
- [4] ULRICH, K. T. y Eppinger, S. D. Diseño y desarrollo de productos. McGraw-Hill. México, 2009
- [5] C. H. Lehmann, Geometría analítica. México: Limusa (2005).
- [6] F. P. Beer, E. R. Johnston Jr, Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica (5a ed.). México: McGRAW-HILL (1990).
- [7] Cuenca Jiménez, Francisco. Temas selectos de Mecatrónica: Análisis Dinámico de Mecanismos Espaciales. Maestría en Diseño Mecánico. Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Semestre 2015-1.

---

---

# Apéndice

---

## A. PROGRAMA PARA SIMULAR LA ALINEACIÓN DEL BANCO KLT

El programa está desarrollado en lenguaje VisualBasic en el entorno de CATIA 5 y funciona junto con el modelo tridimensional de un banco de pruebas para puertas de automóviles.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Dim productDocument1 As Document  
Set productDocument1 = CATIA.ActiveDocument  
  
Dim product1 As Product  
Set product1 = productDocument1.Product  
  
Set product1 = product1.ReferenceProduct  
  
Dim documents1 As Documents  
Set documents1 = CATIA.Documents  
  
Dim partDocument1 As Document  
Set partDocument1 = documents1.Item("EjeDeRotacion.CATPart")  
  
Dim part1 As Part  
Set part1 = partDocument1.Part  
  
Dim parameters1 As Parameters  
Set parameters1 = part1.Parameters  
  
Dim length1 As Parameter  
Set length1 = parameters1.Item("EjeDeRotación\Geometrical  
Set.1\Point.1\X")  
  
length1.Value = TextoX1.Text  
  
part1.Update
```

---

```
Dim hybridBodies1 As HybridBodies
Set hybridBodies1 = part1.HybridBodies

Dim hybridBody1 As HybridBody
Set hybridBody1 = hybridBodies1.Item("Geometrical Set.1")

Dim parameters2 As Parameters
Set parameters2 = part1.Parameters

Dim length2 As Parameter
Set length2 = parameters2.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.1\Y")

length2.Value = TextoY1.Text

part1.Update

Dim parameters3 As Parameters
Set parameters3 = part1.Parameters

Dim length3 As Parameter
Set length3 = parameters3.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.1\Z")

length3.Value = TextoZ1.Text

part1.Update

Dim parameters4 As Parameters
Set parameters4 = part1.Parameters

Dim length4 As Parameter
Set length4 = parameters4.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.2\X")

length4.Value = TextoX2.Text

part1.Update

Dim parameters5 As Parameters
Set parameters5 = part1.Parameters

Dim length5 As Parameter
Set length5 = parameters5.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.2\Y")

length5.Value = TextoY2.Text

part1.Update
```



---

```
Dim parameters6 As Parameters
Set parameters6 = part1.Parameters

Dim length6 As Parameter
Set length6 = parameters6.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.2\Z")

length6.Value = TextoZ2.Text

part1.Update

Dim parameters7 As Parameters
Set parameters7 = part1.Parameters

Dim length7 As Parameter
Set length7 = parameters7.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.3\X")

length7.Value = TextoX3.Text

part1.Update

Dim parameters8 As Parameters
Set parameters8 = part1.Parameters

Dim length8 As Parameter
Set length8 = parameters8.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.3\Y")

length8.Value = TextoY3.Text

part1.Update

Dim parameters9 As Parameters
Set parameters9 = part1.Parameters

Dim length9 As Parameter
Set length9 = parameters9.Item("EjeDeRotación\Geometrical
Set.1\Point.3\Z")

length9.Value = TextoZ3.Text

part1.Update

'Despliegue de resultados
Dim sketches1 As Sketches
Set sketches1 = hybridBody1.HybridSketches

'sketch1 = Sketch.3
Dim sketch1 As Sketch
```

---

```
Set sketch1 = sketches1.Item("Sketch.3")

'Conjunto de restricciones 1. Son las restricciones del Sketch.3
Dim constraints1 As Constraints
Set constraints1 = sketch1.Constraints

Dim constraint1 As Constraint
Set constraint1 = constraints1.Item("Angle.9")
TextoAlfa.Text = constraint1.Dimension.ValueAsString

Dim constraint2 As Constraint
Set constraint2 = constraints1.Item("Offset.8")
TextoE.Text = constraint2.Dimension.ValueAsString

'sketch2 = Sketch.2
Dim sketch2 As Sketch
Set sketch2 = sketches1.Item("Sketch.2")

'Conjunto de restricciones 2. Son las restricciones del Sketch.2
Dim constraints2 As Constraints
Set constraints2 = sketch2.Constraints

Dim constraint3 As Constraint
Set constraint3 = constraints2.Item("Angle.6")
TextoBeta.Text = constraint3.Dimension.ValueAsString

Dim constraint4 As Constraint
Set constraint4 = constraints2.Item("Offset.5")
TextoC.Text = constraint4.Dimension.ValueAsString

product1.Update

End Sub
```