



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE
PRUEBAS PARA VALIDACIÓN DE CARROCERIAS

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROS MECANICOS

P R E S E N T A N :

DAVID MERCADO VELAZQUILLO

ROGELIO PERALTA ROLDÁN



ASESOR: DR. MARCELO LÓPEZ PARRA

MÉXICO 2013

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: DESARROLLO DE LAS ESPECIFICACIONES	4
1.1 PRUEBA DE DURABILIDAD DEL CICLO DE VIDA DE LA PUERTA LATERAL (KLT)....	4
CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	8
2.1 C.E.C. ENGINEERING (DECKLID DOOR).....	8
2.2 C.E.C. ENGINEERING (SIDE DOOR).....	9
2.3 BRAZO DE ELEVACIONES SOMETIDO A ENSAYOS DE FUNCIONALIDAD.....	10
2.4 ENCOPIM BOSTING INNOVATION.....	10
2.5 AIDIMA.....	11
2.6 FORD MOTOR COMPANY.....	12
2.7 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO.....	14
CAPITULO 3: DISEÑO CONCEPTUAL	16
DISEÑO DEL SUBPROBLEMA EXTERNO “APERTURA Y CIERRE DE PUERTAS”.....	22
3.1 PROPUESTA 1 “SERVOSISTEMA”.....	23
3.2 PROPUESTA 2 “BRAZO NEUMATICO”.....	25
3.3 PROPUESTA 3 “TRANSMISIÓN POR BANDA”.....	26
3.4 PROPUESTA 4 “DESPLAZAMIENTO LINEAL”.....	28
DISEÑO CONCEPTUAL DEL SUBSISTEMA INTERNO “VIDRIOS Y SEGUROS”.....	31
3.5 PROPUESTA 1 “ELECTROIMÁN”.....	33
3.6 PROPUESTA 2 “ACTUADORES NEUMÁTICOS”.....	34
3.7 PROPUESTA 3 “SOLENOIDES”.....	35

3.8 PROPUESTA 4 “SERVOSISTEMA CON BIELA”.....	37
3.9 PROPUESTA 5 “ACOPLADOR DE VOLANTE”.....	38
CAPITULO 4: DISEÑO DE DETALLE.....	42
4.1 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR.....	47
4.2 PROTOTIPO Y PRUEBAS.....	56
4.3 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.....	57
4.4 RESULTADOS DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	59
4.5 ESTRUCTURA Y CUERPO DEL BANCO.....	61
CAPITULO 5: CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.....	71
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	85
ANEXOS.....	I
ANEXO 1 PROCEDIMIENTO CORPORATIVO DE PRUEBAS INGENIERILES	
ANEXO 2 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN	
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	II

INTRODUCCIÓN

Las notables transformaciones en la industria automotriz que se están suscitando en el mundo y en especial en nuestro país, obligan a las empresas a aplicar nuevas modalidades de gestión, imprescindibles no solo para ser competitivas y rentables, sino también para dar una respuesta eficaz a las necesidades de sus clientes, quienes asumen la calidad como una variable fundamental.

En este contexto la valoración del cliente y la permanente búsqueda de la satisfacción de sus necesidades y expectativas, permiten asumir el cambio cultural que es necesario para romper con los paradigmas y afrontar con éxito los actuales y futuros desafíos.

Una de las empresas instaladas en nuestro país que ha trabajado en estos y otros aspectos de calidad e innovación es la empresa Ford Motor Company, la cual es una de las empresas más importantes a nivel mundial. En México, Ford cuenta con tres plantas ubicadas en Hermosillo, Chihuahua y Cuautitlán Estado de México, las cuales actualmente se encuentran en acciones para pasar del quinto al tercer productor más importante para la firma Ford.

La empresa Ford en México representa una de las más importantes en el mercado, ubicando sus modelos insignia entre las siete marcas más comercializadas en nuestro país.

Ford Motor Company S.A. de C.V. ha decidido, como parte de su estrategia tecnológica, invertir en el diseño y desarrollo de bancos de pruebas. Con el diseño de estos bancos busca conformar un centro de excelencia de validación de componentes estructurales, con el cual se podrá evaluar mediante pruebas confiables, la calidad y durabilidad de los elementos comercializados por la firma.

Con este objetivo presente, la compañía Ford Motor Company se acercó al Centro de Diseño Mecánico y de Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para plantear la necesidad del diseño y la construcción de un banco de pruebas con la calidad, eficiencia y eficacia requeridas.

En esta tesis, por lo tanto, se plantea el diseño conceptual de un banco de pruebas que cumple con especificaciones y normas de calidad establecidas por la empresa mediante un manual de procedimientos facilitado a la UNAM. En el documento se dan los requerimientos necesarios a cumplir en el diseño del banco de pruebas, los cuales son de suma importancia en el presente proyecto.

El banco de pruebas debe tener la capacidad de probar la durabilidad de la apertura y cierre de puertas, así como de elementos interiores de contacto directo con el usuario como lo son el botón para subir y bajar el vidrio en el caso de que éste sea eléctrico y la manivela en el caso de ser mecánico o manual.

La valoración de la durabilidad se llevará a cabo mediante el conteo de ciclos para cada caso, los cuales Ford estableció en su manual con base en el uso cotidiano que exige el usuario.

El banco de pruebas que se reporta en este trabajo fue diseñado con la visión de ser un equipo funcional para la industria automotriz, en específico un equipo funcional para la empresa Ford México en la planta de Cuautitlán Estado de México, cumpliendo con lo establecido y satisfaciendo la necesidad planteada por la empresa. Este trabajo representa un resultado positivo a la vinculación de la educación universitaria, con la industria en nuestro país.

OBJETIVO GENERAL

- Plantear el diseño y construcción de un banco de pruebas que cumpla con especificaciones y normas de calidad establecidas por la empresa Ford Motor Company, proyecto que surge por la necesidad de la empresa como parte de su estrategia tecnológica.

Capítulo 1

DESARROLLO DE LAS ESPECIFICACIONES

En este capítulo se presentan los puntos relevantes del manual “Procedimiento corporativo de pruebas ingenieriles” expedido por Ford Motor Company presentado en el Anexo 1, en él se mencionan normas y pruebas que se deberán cumplir rigurosamente para cada parte del automóvil.

Dicho manual se encuentra dividido en secciones tales como los ensayos realizados al cofre, puertas, mecanismos de elevación y cajuela.

En este trabajo de tesis se enfocó a revisar y trabajar con la sección de puertas laterales de las cuales se presentan los puntos relevantes a continuación.

1.1 PRUEBA DE DURABILIDAD DEL CICLO DE VIDA DE LA PUERTA LATERAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

A continuación se muestran algunos ejemplos de maquinaria diseñada para realizar pruebas de vida a diversos elementos dentro de distintos ramos de la industria.

2.1 C.E.C. Engineering (Decklid door)

El equipo que esta empresa ofrece está constituido por una máquina ligera y con un sistema automático con la capacidad de abrir y cerrar la cajuela de cualquier tipo de vehículos, con lo cual se tiene la ventaja de versatilidad, y se consigue con un brazo impulsado por un motor montado en su columna vertical. Y éste puede movilizar al brazo permitiendo una gran apertura con un control preciso de posición.

Además, cuenta con un regulador de velocidad para poder abrir y cerrar las puertas y de poder detenerse en el instante deseado.

Todo el control de su máquina es llevado a cabo por computadora, el material utilizado en éste banco es acero inoxidable y aluminio ya que es usado en una cámara atmosférica a condiciones extremas.

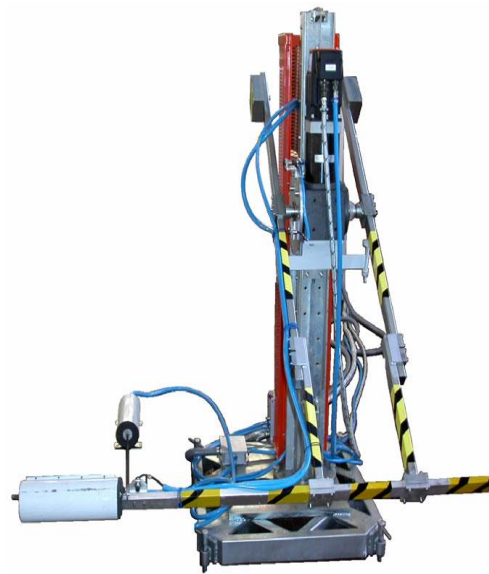


Figura [2.1] Banco de pruebas de C.E.C Engineering exclusivo para cajuelas.



Figura [2.2] Dispositivo de desbloqueo de seguros de cajuela.

Además de este banco, la empresa ofrece otro producto de la misma índole enfocado a otro componente de la carrocería, en este caso, las puertas.

2.2 C.E.C. Engineering (Side Door)

Este otro banco de pruebas cuenta con especificaciones expedidas por algunos fabricantes como Fiat, Volvo y Peugeot acerca de la apertura y cierre de puertas. Figura [2.3]

Le es posible la apertura de las puertas hasta un ángulo de 150° a diferentes velocidades y aceleraciones teniendo así una amplia gama de posibilidades. El material en el que está fabricado es de acero inoxidable y aluminio lo cual le da la misma ventaja que al banco anteriormente mencionado de trabajar en cámara climática a temperaturas extremas.

Cuenta con un control total por computadora, así mismo, con un almacenamiento en donde se documentan las pruebas del ciclo de vida.

El equipo electrónico con el que cuenta controla dos bancos independientes: uno que abre y cierra la puerta desde el exterior del auto y otro desde el interior, pudiendo utilizar uno u otro dependiendo de la necesidad. Figura [2.4] y Figura [2.5].



Figura [2.3] Banco de pruebas de función externa equipado con transmisión.



Figura [2.4] Banco de pruebas de función interna equipado con transmisión.



Figura [2.5] Banco de pruebas de función externa acoplable a ambos laterales del vehículo.

2.3 Brazo de elevalunas sometido a ensayos de funcionalidad

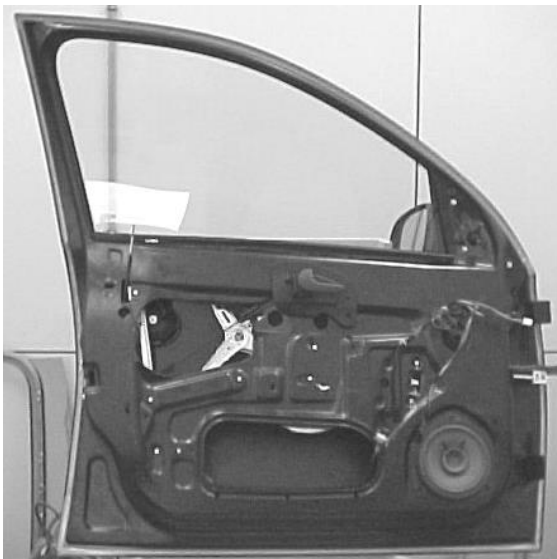


Figura [2.6] Mecanismo de elevalunas acoplado a la puerta del vehículo.

Uno de los mecanismos que presentan un elevado índice de fallos debido a la funcionalidad es el elevalunas, que se compone por dos brazos articulados, sometido a ciclos de funcionalidad (subida y bajada de la luna). Como se muestra en la Figura [2.6]

Dada la sensibilidad de los estudios de fatiga es muy importante considerar las cargas y fuerzas de reacción entre las partes del mecanismo lo más parecidas a la situación real de funcionamiento.

En muchas ocasiones, los ensayos de funcionalidad se realizan con el mecanismo montado en un banco de ensayos rígido, lo que difiere bastante de su colocación real en la puerta del vehículo, por lo que todos los ensayos se han efectuado con el vehículo completo para que se presente una situación real.

2.4 Encopim Boosting innovation

Empresa internacional con presencia en México, en la ciudad de Monterrey, dedicada a proveer soluciones personalizadas a las necesidades de la industria.

En la figura [2.7], se muestra un equipo servo-neumático para evaluar la durabilidad y esfuerzos de uso de los conjuntos puerta, cajuela y cofre, a temperatura ambiente o en condiciones climáticas extremas.



Figura [2.7] Banco de pruebas dedicado a la apertura y cierre de cofres y cajuelas.

2.5 AIDIMA

El Instituto Tecnológico Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMA) es una asociación de empresas con sede en España, fuera del ramo automotriz dedicado específicamente a la validación de muebles para el hogar con el fin de incrementar la competitividad en éste ramo otorgando certificaciones al sector de inmobiliario.

El equipo que se muestra a continuación tiene como objetivo validar la durabilidad y resistencia de bisagras y mecanismos de cierre de las puertas de los muebles, se rigen por la norma española que dicta 10,000 a 60,000 ciclos dependiendo del uso al que vaya destinado el mueble.

Su máquina es totalmente independiente y puede ser utilizada de forma estándar en puertas de este tipo de muebles, la maquina puede llegar a una apertura máxima de 135°. La Figura [2.8], muestra la máquina para probar la durabilidad en puertas de muebles.

Con este banco se tiene ventajas como el complementar el experimento de ciclado con ensayos de resistencia sobre el elemento de carga como pueden ser:

- Apertura y cierre bruscos
- Resistencia de las bisagras (Fuerza vertical)
- Resistencia sobre la puerta abierta (Fuerza horizontal)



Figura [2.8] Máquina para probar durabilidad en puertas de muebles.

2.6 Ford Motor Company

Ford ha diseñado un banco para probar la durabilidad de uno de sus vehículos el Transit Custom, el equipo de pruebas se encargó de dar más de 550,000 ciclos a la furgoneta, con lo cual se asegura su uso cotidiano durante varios años.

Los portazos además se realizaron en condiciones especiales en las que la temperatura se pudo bajar hasta 40° C bajo cero y subir hasta los 82° C con un máximo de 85% de humedad.

La simulación se realiza con un sistema especial en el centro de desarrollo de Ford en Merkenich, Alemania. Figura [2.9]



Figura [2.9] Banco de pruebas para puertas deslizantes.

	C.E.C. Engineering (Decklid door)	C.E.C. Engineering (Side Door)	Encopim Boosting innovation	AIDIMA	Ford Motor Company
Ventajas	Modular Resistencia a condiciones extremas	Modular Programable	Rigidez Modular Calibración Resistencia a condiciones extremas	Modular Pruebas realistas	Rigidez Calibración Resistencia a condiciones extremas
Desventajas	Calibración Funcionalidad limitada	Calibración Rigidez Nula resistencia a condiciones extremas	Funcionalidad limitada	Sin aplicación relacionada	Funcionalidad limitada

Tabla [2.1] Tabla comparativa de tecnologías existentes.

2.7 ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO

Con base en el estudio del manual “Corporate Engineering Test Procedure” de Ford, los equipos comerciales existentes para realizar pruebas y las reuniones con el departamento de ingeniería de Ford, se definieron las siguientes especificaciones de diseño para el banco de pruebas:

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

Capítulo 3

DISEÑO CONCEPTUAL

La generación de conceptos en el diseño, es una parte primordial en el diseño de productos, ya que en ellos se basan los principios de solución a las necesidades del cliente; sin embargo, solo es una solución aproximada ya que tiene como objetivo dar una idea que puede ser modificada en las fases siguientes al desarrollo del producto.

El presentar un buen conjunto de conceptos puede significar el éxito del producto o vaticinar el fracaso de éste desde las primeras etapas de su creación, la etapa de generación de conceptos puede no presentar costos significativos, pero si puede y debe ser la etapa de mayor consumo de tiempo en comparación con el resto del proceso.

Las necesidades del cliente son los antecedentes para la generación de conceptos, lo cual origina especificaciones objetivo que nos da como resultado un conjunto de conceptos del producto, de los que se realizará una selección final.

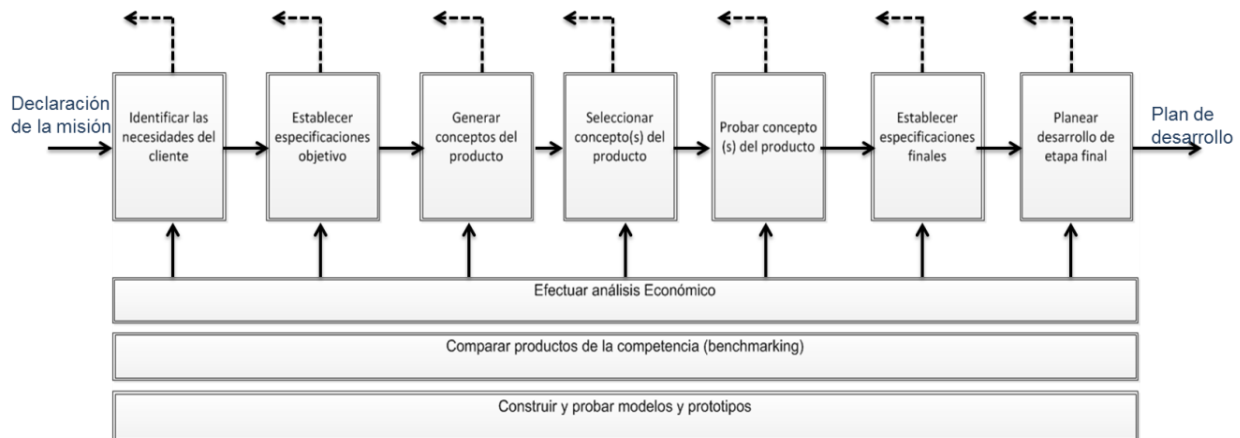


Figura [3.1] Método de diseño donde se observa la importancia de la generación de conceptos.

1

¹ DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS. 4ª Edición. P. 406 Ulrich, Karl T. Eppinger, Steven D. Ed. McGrawHill. Pag 113.

Una buena generación de conceptos deja al equipo con la confianza que todo el espacio de alternativas se ha explorado. Una exploración completa de alternativas en las primeras etapas del proceso de desarrollo reduce, en gran medida, la probabilidad de que el equipo tropiece con un concepto superior más adelante en el proceso de desarrollo o que un competidor introduzca un producto con rendimiento mucho mejor que el producto en desarrollo.²

En el presente trabajo se abordará la generación de conceptos mediante un método de cinco pasos.

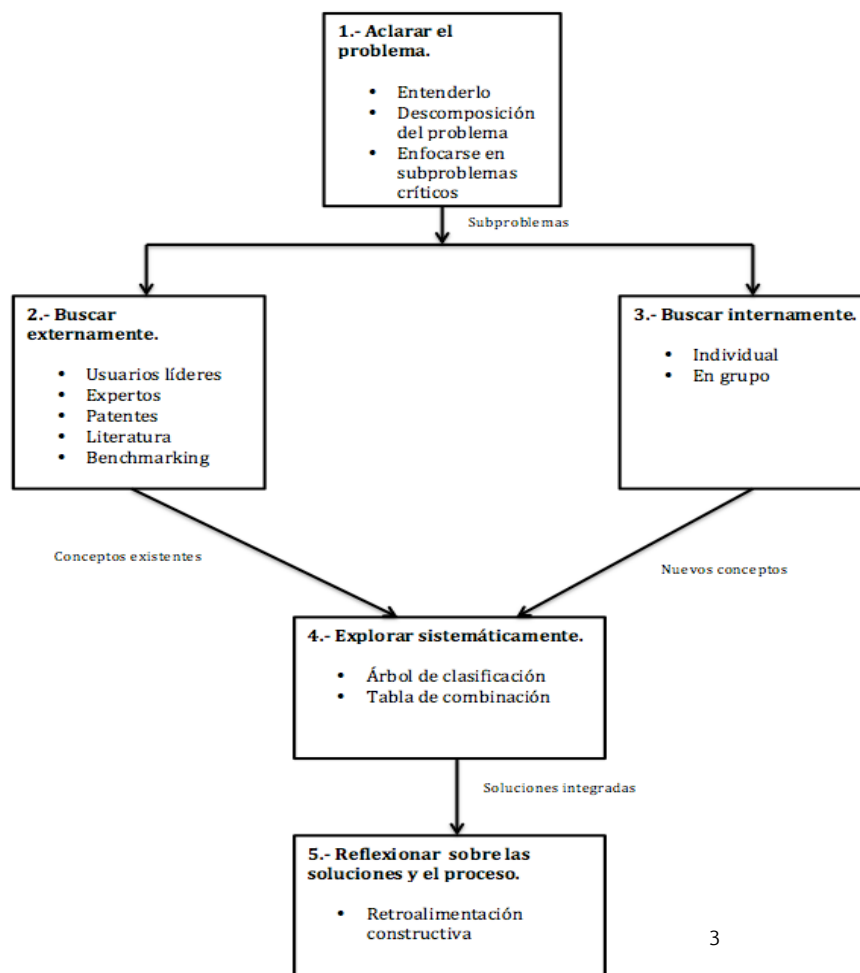


Figura [3.2] Método de generación de conceptos de cinco pasos.

² DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS. 4ª Edición. P. 406 Ulrich, Karl T. Eppinger, Steven D. Ed. McGrawHill. Pag 114.

³ DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS. 4ª Edición. P. 406. Ulrich, Karl T. Eppinger, Steven D. Ed. McGrawHill. Pag 116.

Utilizaremos estos pasos para abordar el problema del diseño de un banco de pruebas para la validación de puertas y elevadoras en estructuras automotrices.

Paso uno: Aclarar el problema, este paso consiste en desarrollar un entendimiento general del problema y de sus planteamientos de solución, es decir, debemos tener planteado correctamente la necesidad a satisfacer y si es necesario descomponer el problema principal en problemas más sencillos.

En el problema planteado en esta tesis, las necesidades de diseño son:

- Abrir y cerrar las puertas de un automóvil.
- Realizarlo a diferentes velocidades.
- Subir y bajar vidrios eléctricos y mecánicos.
- Automatizar.

El primer paso para descomponer un problema funcional es representarlo con una caja negra, que trabaja con flujos de material, energía y señales, como se muestra en la figura [3.3].



Figura [3.3] Diagrama funcional de un banco de pruebas que surge a partir de su descomposición funcional también denominado "Caja negra".

Las flechas gruesas denotan la transferencia y conversión de energía, las continuas gruesas representan el movimiento de material dentro del sistema y las líneas discontinuas son las señales de flujo de control y retroalimentación dentro del sistema.

El paso siguiente es dividir los aspectos de la caja negra en funciones más específicas, con el fin de dar una visión más detallada de la función

de los elementos del producto para implementar el objetivo general de éste, por ejemplo como se muestra en la Figura [3.4].

Se puede notar que el diagrama funcional detallado no es único ya que las funciones principales pueden ordenarse de diferentes formas.

Paso dos: Buscar externamente, este paso se trata de hallar soluciones existentes a la necesidad. Es considerado el segundo paso en el método de generación de conceptos, aunque este paso se tendrá que llevar a cabo durante todo el proceso de desarrollo del proyecto. El cual esta descrito en el capítulo dos de ésta tesis.

Paso tres: Buscar internamente, La búsqueda interna es el uso del conocimiento personal y del equipo, así como de creatividad para generar conceptos de solución. Se dice que la búsqueda es interna debido a que todas las ideas que emergen de este paso son creadas a partir de los conocimientos que poseen los miembros del equipo.

Los pasos dos y tres se llevan a cabo de forma paralela pero no de forma individual, lo cual se refiere que durante el proceso estos pasos tienen una conexión con intercambio de información.

Esta actividad puede ser la más abierta, extensa y creativa que cualquiera en el desarrollo de un nuevo producto. Fue útil pensar en una búsqueda interna con un proceso de recuperar una pieza potencialmente útil en nuestra memoria y luego adaptar esa información al problema que se tenga en la mano.

Este proceso puede ser realizado por personas que trabajen de forma individual o por un grupo donde varios trabajen juntos.

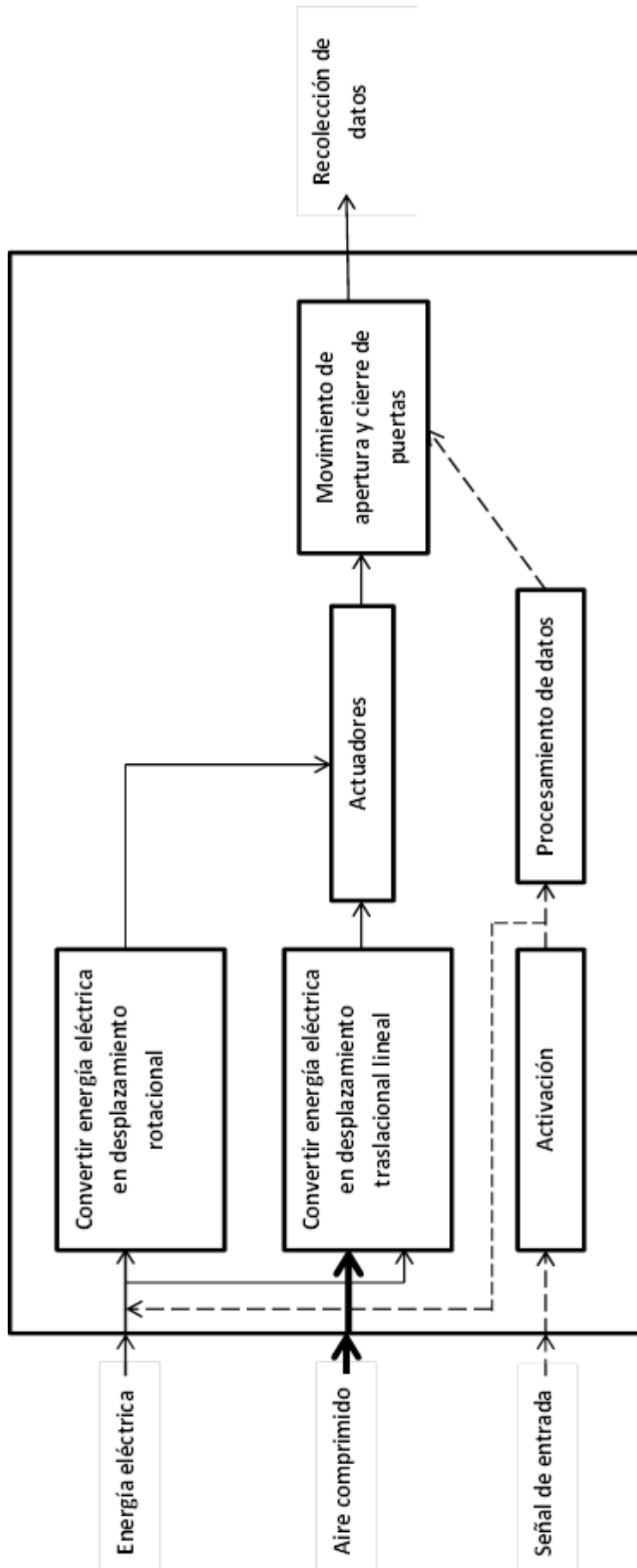


Figura [3.4] Diagrama funcional de un banco de pruebas que surge a partir de su descomposición funcional. Refinamiento que muestra subfunciones.

Con base en lo explicado anteriormente se dió paso a la siguiente etapa de la exploración sistemática, con los conceptos funcionales previamente concebidos.

Paso cuatro: Explorar sistemáticamente, como resultado de las actividades de búsqueda externa e interna se recolectaron las soluciones a los subproblemas.

El objetivo de este paso está enfocado en navegar entre el gran abanico de posibilidades que resulta de organizar y sintetizar las propuestas de solución, teniendo como principales subproblemas los siguientes:

- 1.- Apertura y cierre de puertas.
- 2.- Subir y bajar vidrios.
- 3.- Bloqueo y desbloqueo de seguros.

DESIGN OF SUBPROBLEM EXTERNAL OR "APERTURA Y CIERRE DE PUERTAS"

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	APERTURA Y CIERRE DE PUERTAS (MOVIMIENTO)		SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		BLOQUEO Y DESBLOQUEO SEGUROS	
	Rotacional	Lineal	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Eléctrica	Motor eléctrico	Servomotores	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Motor de combustión con generador	Cilindros hidráulicos (biela-manivela)	Cilindros Hidráulicos	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Pistones eléctricos
Eólica	Mecanismos de cuatro barras	Cilindros neumáticos	Electroimán	N/A	N/A	Resortes
Solar con acumulador	Servomotor	Husillo	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	Cilindros neumáticos	Resortes	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla [3.1] Algunas soluciones a los subproblemas principales.

Con base en los conceptos planteados en la tabla [3.1] se procedió a generar combinaciones entre ellos para lograr obtener diversas alternativas al primer subproblema planteado, apertura y cierre de puertas, seleccionando entre ellos algunos de los resultados más promisorios, que se muestran en las siguientes tablas.

3.1 Apertura y cierre de puertas propuesta no. 1 “servosistema”

ENERGÍA	ACCIÓN ROTACIONAL	ACCIÓN LINEAL	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO
Eléctrica	Motor eléctrico	Servomotor	Husillo
Hidráulica-Neumática	Cilindro hidráulico (biela-manivela)	Cilindro hidráulico	Bandas dentadas o cadenas
Solar con acumulador	Cilindro neumático (biela-manivela)	Cilindro Neumático	Palanca
Motor de combustión con generador	Servomotor	Resorte	Mecanismo de cuatro barras
N/A	N/A	N/A	Cremallera

Tabla [3.2] Primer concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas.

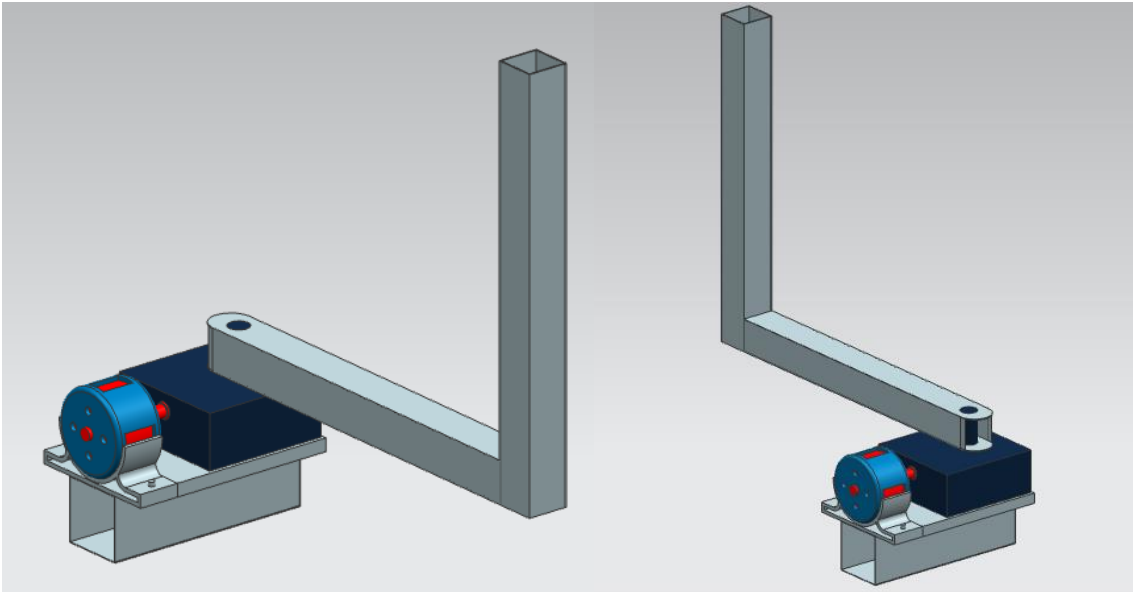


Figura [3.5] Concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas usando servosistema.

Esta propuesta consiste en un mecanismo impulsado por un servomotor acoplado a una transmisión, la cual dirige al movimiento en la dirección deseada acoplándose a un brazo, el cual realizará el movimiento que actuará directamente sobre la puerta, permitiendo la apertura y cierre de ésta.

3.2 Apertura y cierre de puertas propuesta No. 2 “Brazo Neumático”

ENERGÍA	ACCIÓN ROTACIONAL	ACCIÓN LINEAL	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO
Eléctrica	Motor eléctrico	Servomotor	Husillo
Hidráulica-Neumática	Cilindro hidráulico (biela-manivela)	Cilindro hidráulico	Bandas dentadas cadenas
Solar con acumulador	Cilindro neumático (biela-manivela)	Cilindro Neumático	Palanca
Motor de combustión con generador	Servomotor	Resorte	Mecanismo de cuatro barras
N/A	N/A	N/A	Cremallera

Tabla [3.3] Segundo concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas.

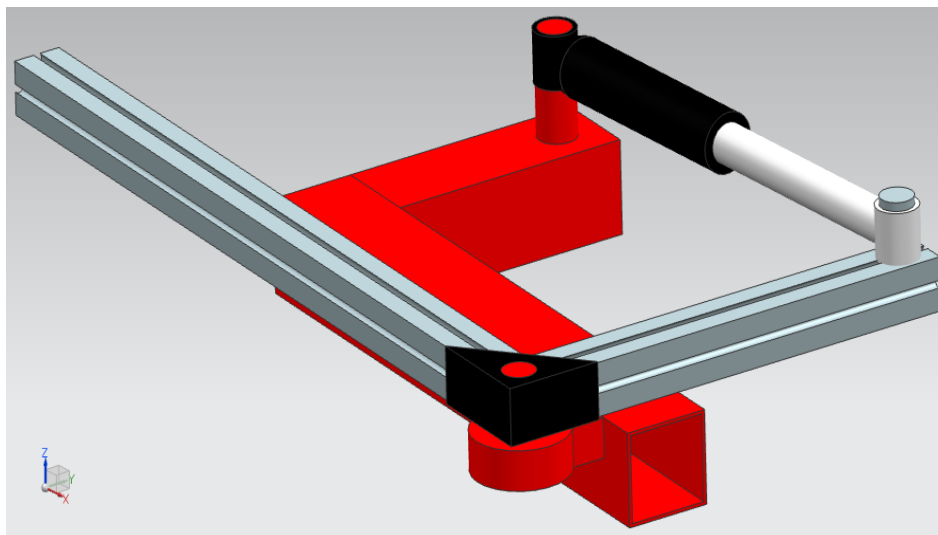


Figura [3.6] Concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas usando brazo neumáticos.

Este segundo concepto está conformado por un pistón neumático que entrega un movimiento lineal sobre una palanca en forma de escuadra, la cual nos entrega el movimiento deseado que actúa sobre las puertas, la escuadra gira respecto a un eje de rotación fijo acoplable mediante una base corrediza.

3.3 Apertura y cierre de puertas propuesta No. 3 “Transmisión por banda”

ENERGÍA	ACCIÓN ROTACIONAL	ACCIÓN LINEAL	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO
Eléctrica	Motor eléctrico	Servomotor	Husillo
Hidráulica-Neumática	Cilindro hidráulico (biela-manivela)	Cilindro hidráulico	Bandas dentadas o cadenas
Solar con acumulador	Cilindro neumático (biela-manivela)	Cilindro Neumático	Palanca
Motor de combustión con generador	Servomotor	Resorte	Mecanismo de cuatro barras
N/A	N/A	N/A	Cremallera

Tabla [3.4] Tercer concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas.

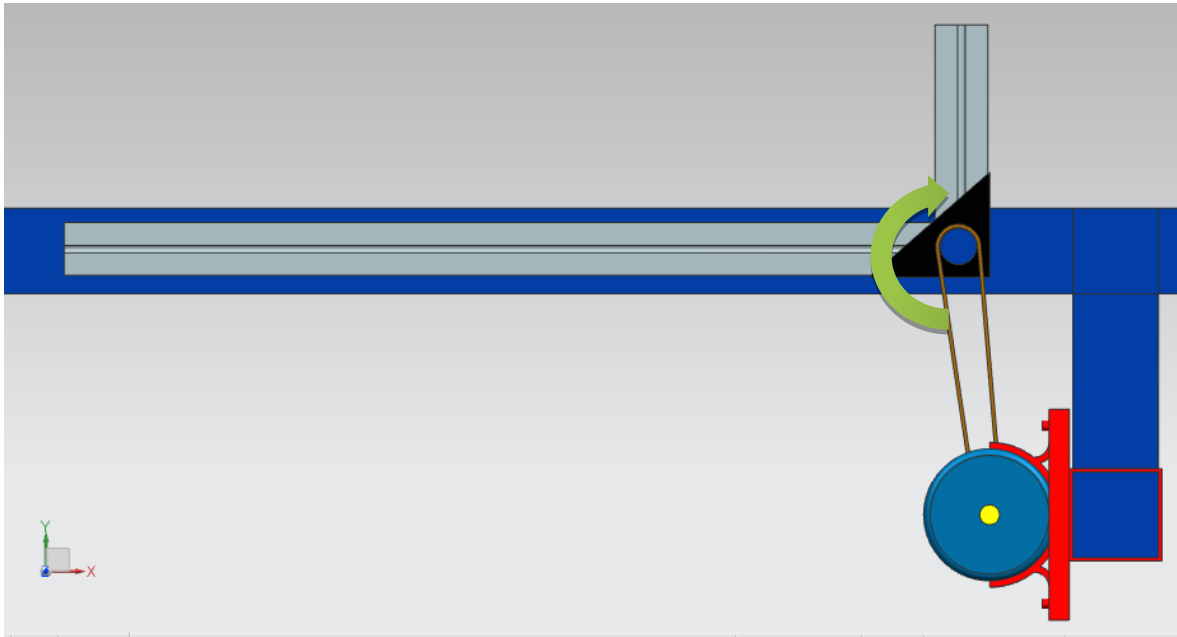


Figura [3.7] Concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas usando transmisión por bandas.

En este concepto contamos con una configuración de un brazo acoplado a un servomotor por medio de una cadena, el cual le transmite un movimiento rotatorio que al ser realizado por el brazo, sigue la trayectoria buscada para actuar sobre la puerta.

3.4 Apertura y cierre de puertas propuesta No. 4 “Desplazamiento lineal”

ENERGÍA	ACCIÓN ROTACIONAL	ACCIÓN LINEAL	TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO
Eléctrica	Motor eléctrico	Servomotor	Husillo
Hidráulica-Neumática	Cilindro hidráulico (biela-manivela)	Cilindro hidráulico	Bandas dentadas o cadenas
Solar con acumulador	Cilindro neumático (biela-manivela)	Cilindro Neumático	Palanca
Motor de combustión con generador	Servomotor	Resorte	Mecanismo de cuatro barras
N/A	N/A	N/A	Cremallera

Tabla [3.5] Cuarto concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas.

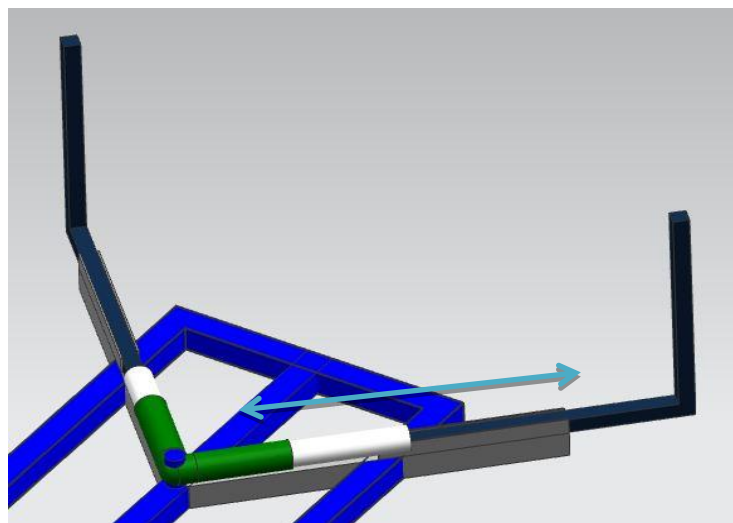


Figura [3.8] Concepto de solución al problema de apertura y cierre de puertas usando desplazamiento lineal.

En esta cuarta propuesta se hace el uso de un servomotor que actúa en un sistema de piñón y cremallera para hacer un movimiento lineal directamente sobre un elemento móvil en el que se montara el sistema de sujeción a la puerta para lograr su apertura y cierre.

Paso cinco: A continuación se presenta la matriz de decisión en la cual se evalúan distintos aspectos tomados en cuenta para la realización del proyecto, dichos aspectos son ponderados según nuestros recursos y necesidades de desarrollo, las calificaciones otorgadas a cada aspecto son en relación a que tan bien cumplen con cada una de las propuestas, tras desarrollar la evaluación de las cuatro propuestas podemos saber cuál de éstas es la más sobresaliente.

El criterio utilizado para la ponderación de los valores de la matriz fue utilizar 100 puntos los cuales fueron divididos entre los criterios de selección dependiendo del nivel de importancia que estos representan, posteriormente se otorgó una calificación a cada una de las propuestas en cada uno de los criterios. Las calificaciones otorgadas abarcan valores del 1 al 10. Lo que significa que el valor más pequeño tiene una menor importancia que el resto, así mismo significa que para ser mejor calificado se debe obtener el valor máximo, después cada peso asignado a cada criterio y la calificación otorgada serán multiplicadas para obtener el valor ponderado, finalmente se suma cada uno de estos valores ponderados para obtener el valor de la mejor propuesta, este procedimiento se muestra en las siguientes formulas.

$$\text{Valor ponderado} = \text{Peso} \times \text{Calificación}$$

$$\text{Evaluación total} = \sum \text{Valor ponderado de cada uno de los criterios de selección}$$

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Peso	PROPUESTA 1 "Servosistema"		PROPUESTA 2 "Brazo neumático"		PROPUESTA 3 "Transmisión por banda"		PROPUESTA 4 "Desplazamiento lineal"	
		calificación	Valor ponderado	calificación	Valor ponderado	Calificación	Valor ponderado	calificación	Valor ponderado
Costos	12	9	108	8	96	10	120	6	72
Manufactura	5	7	35	6	30	7	35	7	35
Facilidad de operación	17	9	153	9	153	9	153	9	153
Volumen ocupado	10	7	70	7	70	6	60	6	60
Modularidad	6	7	42	7	42	5	30	5	30
Durabilidad	27	10	270	10	270	4	108	7	189
Simplicidad	10	8	80	7	70	5	50	7	70
Mantenimiento	8	9	72	8	72	3	24	4	32
Sustentabilidad	5	6	30	6	30	6	30	6	30
Evaluación total			860		833		610		671
Posición			1		2		4		3

Tabla [3.6] Matriz de decisión para el subproblema de apertura y cierre de puertas.

En la tabla [3.6] se muestran los resultados tras haber evaluado las cuatro propuestas principales, con la cual podemos determinar que la propuesta **Servosistema** es la solución recomendada para resolver el primer subproblema.

Con esta aseveración podemos dar paso a la siguiente fase del diseño, que es el diseño de detalle, en el cual, se abunda en el siguiente capítulo.

Mientras tanto se continúa con la aplicación del método de diseño utilizado en éste trabajo de tesis para el segundo y tercer subproblema que son subir y bajar vidrios así como bloquear y desbloquear seguros eléctricos y mecánicos.

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SUBSISTEMA INTERNO

VIDRIOS Y SEGUROS

Decidimos trabajar con los subproblemas dos y tres en conjunto los cuales son “subir y bajar vidrios” y “bloqueo y desbloqueo de seguros” ya que van relacionados estrechamente, puesto que su aplicación directa será en el mismo sitio en el interior del auto, que siendo más específicos actúan directamente en el panel de control de la puerta como se muestra en la Figura [3.9], por lo cual se cree conveniente manejarlos simultáneamente debido a su interacción.



Figura [3.9] Panel de control de una puerta común.

En la tabla [3.7] se muestran algunas de las alternativas de solución a los subproblemas mencionados con anterioridad.

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		BLOQUEAR Y DESBLOQUEAR SEGUROS	
Eléctrica	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Hidráulica-Neumática	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulador	Electroimán	N/A	N/A	Resortes

Tabla [3.7] Algunas soluciones a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros”.

Con base en los conceptos planteados en la tabla anterior procedimos a genera combinaciones entre ellos para obtener diversas alternativas al segundo y tercer subproblema planteado, subir y bajar vidrios, y poner y quitar seguros, seleccionando entre ellos algunos de los resultados más prometedores, que se muestran a continuación en las siguientes tablas.

3.5 Subir y bajar vidrios, bloquear y desbloquear seguros propuesta N° 1 “Electroimán”

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		PONER Y QUITAR SEGUROS	
	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Hidráulica-Neumática	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulado	Electroimán	N/A	Palanca	Resortes

Tabla [3.8] Primer concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros”.

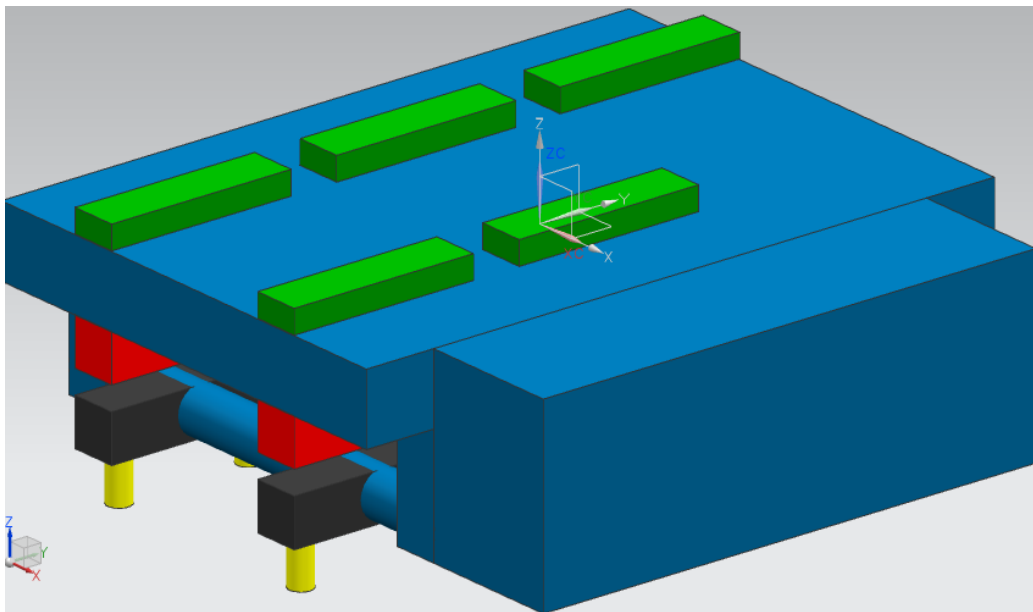


Figura [3.9] Concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros” utilizando electroimán.

Esta propuesta consiste en un mecanismo de tipo palanca que está apoyado en su centro en una estructura, el cual será acoplado a un electroimán cuyo trabajo será aplicar una corriente eléctrica que magnetizará el electroimán permitiendo el movimiento del mecanismo de palanca, para lograr el accionamiento de los botones del panel de control.

3.6 Subir y bajar vidrios y bloquear y desbloquear seguros propuesta N° 2 “Actuadores Neumáticos”

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		PONER Y QUITAR SEGUROS	
	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Hidráulica-Neumática	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulador	Electroimán	N/A	N/A	Resortes

Tabla [3.9] Segundo concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros”.

Esta propuesta permite el accionamiento de los botones del panel de control por medio de unos pistones neumáticos que hacen su interacción directa con los botones, los cuales por comodidad serán acoplados a un brazo mecánico, que podrá ser ajustado a cualquier posición sin importar la complejidad del panel dentro del vehículo, debido a su facilidad de adaptabilidad y resistencia.

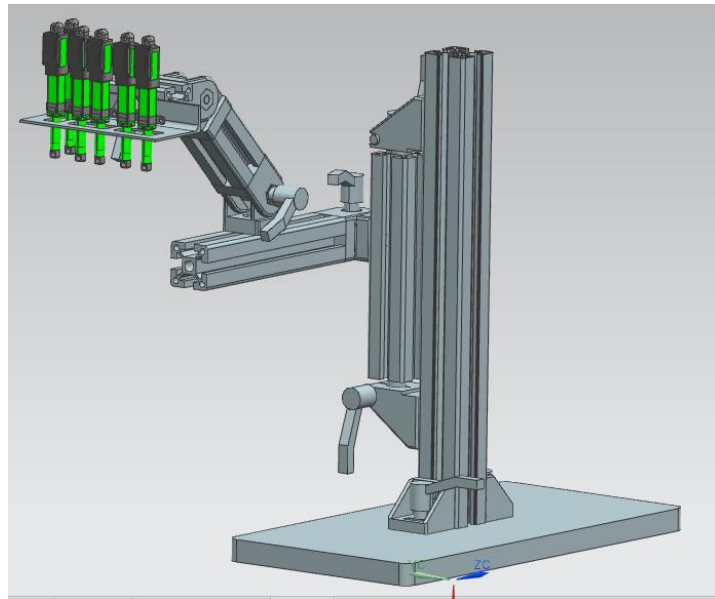


Figura [3.10] Concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros” utilizando actuadores neumáticos.

3.7 Subir y bajar vidrios y bloquear y desbloquear seguros propuesta N° 3 “Solenoides”

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		PONER Y QUITAR SEGUROS	
	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Pistones neumáticos	Servomotores	Pistones neumáticos	Pistones neumáticos
Hidráulica-Neumática	Solenoides	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulador	Electroimán	N/A	Solenoides	Resortes

Tabla [3.10] Tercer concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros”.

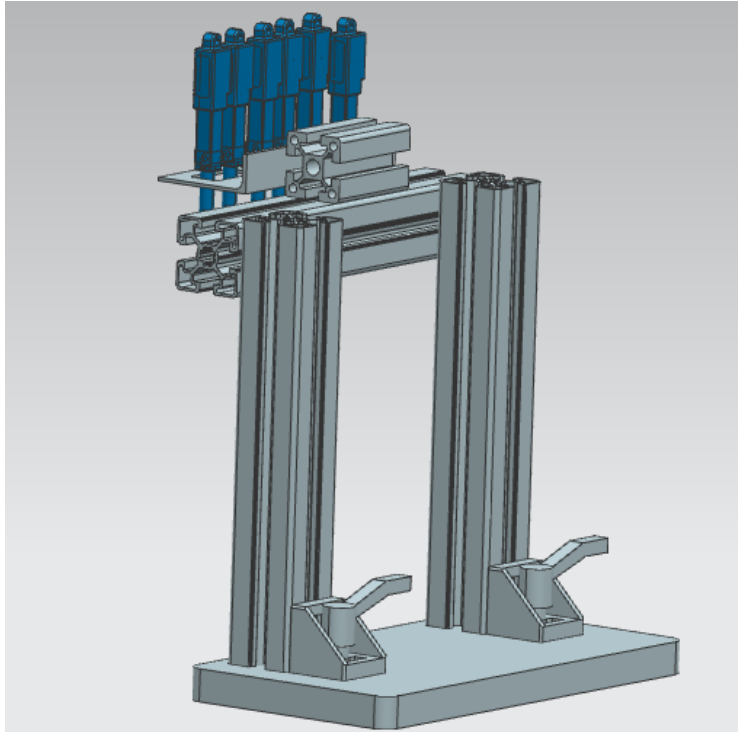


Figura [3.11] Concepto de solución a los subproblemas de “subir y bajar vidrios” y “bloquear y desbloquear seguros” utilizando solenoides.

En este concepto se contó con un accionamiento de los botones por medio de unos solenoides, los cuales estarán en contacto directo con el panel de control, que podrán ser ajustados por medio de una estructura móvil conformada por perfiles de aluminio que aportaran rigidez y facilidad de acoplamiento.

3.8 Subir y bajar vidrios y mecánicamente propuesta N° 4

“Servosistema con biela”

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		PONER Y QUITAR SEGUROS	
	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Hidráulica-Neumática	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulador	Electroimán	N/A	N/A	Resortes

Tabla [3.11] Cuarto concepto de solución al subproblema de “subir y bajar vidrios mecánicamente”.

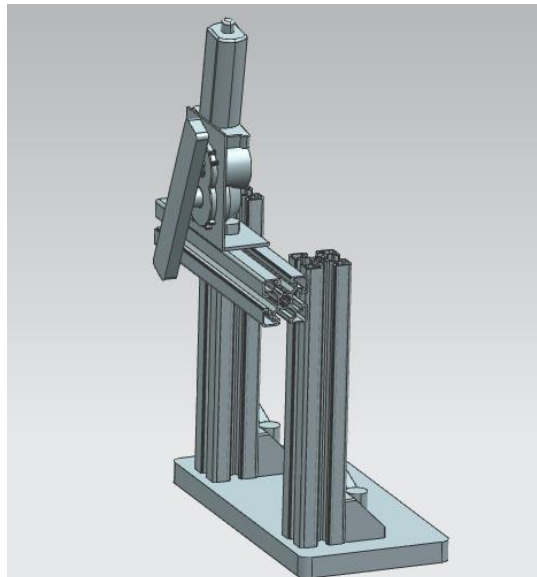


Figura [3.12] Concepto de solución al subproblema de “subir y bajar vidrios mecánicamente” utilizando servosistema con biela.

En este concepto se logró abrir y cerrar el vidrio de manera mecánica, ya que no solo debemos enfocarnos en la solución de la parte eléctrica. Este sistema está integrado por un mecanismo de una manivela acoplada a un servomotor que la hace girar y esta, a su vez, tiene contacto directo con la manivela del elevavinas, el cual genera la apertura y cierre del vidrio. Cabe mencionar que el uso de servomotores nos proporciona un excelente control en el giro.

El servosistema será acoplado a una estructura de aluminio que estará conformada por ítems que proporcionaran el manejo de éste mecanismo de manera fácil y eficaz al momento del acoplamiento.

3.9 Subir y bajar vidrios mecánicamente propuesta N° 5

“Acoplador de volante”

ENERGÍA DE ALIMENTACIÓN	SUBIR Y BAJAR VIDRIOS (MOVIMIENTO)		PONER Y QUITAR SEGUROS	
	Eléctrico	Mecánico	Eléctrico	Mecánico
Motor de combustión con generador	Cilindros neumáticos	Servomotores	Cilindros neumáticos	Cilindros neumáticos
Hidráulica-Neumática	Cilindros eléctricos	Mecanismo (biela-manivela)	Cilindros eléctricos	Cilindros eléctricos
Solar con acumulador	Electroimán	N/A	N/A	Resortes

Tabla [3.12] Quinto concepto de solución al subproblema de “subir y bajar vidrios mecánicamente”.

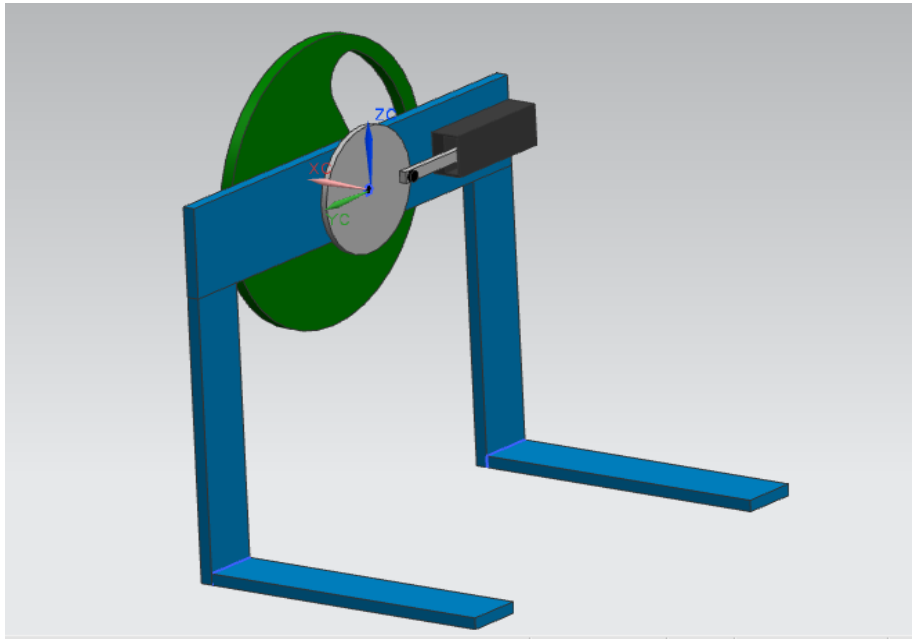


Figura [3.13] Concepto de solución al subproblema de “subir y bajar vidrios mecánicamente” utilizando acoplador de volante.

Este concepto sirve para subir y bajar vidrios de manera mecánica, éste sistema consta de un disco con una ranura la cual será acoplada a la manija del elevavinas que será accionada por medio de un mecanismo de biela-manivela utilizando un pistón neumático de doble efecto, éste sistema será sostenido por una estructura de ítems de aluminio que a su vez permitirán el debido acoplamiento dependiendo de la ubicación de la manija del elevavinas.

Al igual que el subproblema uno se dio paso a la selección del concepto idóneo para dar solución a nuestros subproblemas, tomando en cuenta nuestras necesidades y las del cliente, los valores otorgados en la siguiente matriz de decisión están en relación en que también cumplen con cada una de las propuestas.

El criterio fue el mismo utilizado para la selección del primer subproblema el cual fue utilizar 100 puntos los cuales fueron divididos entre los criterios de selección dependiendo del nivel de importancia que estos representan, posteriormente se otorgó una calificación a cada una de las propuestas en cada uno de los criterios. Las calificaciones otorgadas abarcan valores del 1 al 10. Lo que significa que el valor más pequeño tiene una menor importancia que el resto, así mismo significa que para ser mejor calificado se debe obtener el valor máximo, después cada peso asignado a cada criterio y la calificación otorgada serán multiplicadas para obtener el valor ponderado, finalmente se suma cada uno de estos valores ponderados para obtener el valor de la mejor propuesta, este procedimiento se muestra en las siguientes formulas.

$$\text{Valor ponderado} = \text{Peso} \times \text{Calificación}$$

$$\text{Evaluación total} = \sum \text{Valor ponderado de cada uno de los criterios de selección}$$

Para este caso se tendrán dos soluciones una para el caso eléctrico y la otra para el caso mecánico como se muestra en la tabla [3.13].

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Peso	PROPUESTA 1 "Electroimán"		PROPUESTA 2 "Actuadores Neumáticos"		PROPUESTA 3 "Solenoides"		PROPUESTA 4 "Servosistema con biela"		PROPUESTA 5 "Acoplador de volante"	
		calificación	Valor ponderado	calificación	Valor ponderado	Calificación	Valor ponderado	calificación	Valor ponderado	calificación	Valor ponderado
Costos	12	8	96	8	96	8	96	7	84	8	96
Manufactura	5	7	35	9	45	8	40	9	45	8	40
Facilidad de operación	17	8	136	8	136	8	136	9	153	7	119
Volumen ocupado	10	9	90	9	90	9	90	9	90	7	70
Modularidad	6	8	48	9	54	8	48	9	54	9	54
Durabilidad	27	9	243	9	243	8	216	9	243	9	243
Simplicidad	10	8	80	8	80	8	80	9	90	9	90
Mantenimiento	8	9	72	9	72	9	72	9	72	7	56
Sustentabilidad	5	8	40	9	45	8	40	8	40	8	40
Evaluación total			840		861		818		871		808
Posición			3		2		4		1		5

Tabla [3.13] Matriz de decisión a los subproblemas de "subir y bajar vidrios" y "bloquear y desbloquear seguros".

Se determinó que la propuesta de **Actuadores Neumáticos** es la solución recomendada para el subproblema de "subir y bajar vidrios" y "bloqueo y desbloqueo de seguros".

Así mismo la propuesta de **Servosistema con biela** fue seleccionada como la mejor solución para el problema de "subir y bajar vidrios mecánicamente".

Capítulo 4

DISEÑO DE DETALLE

En cualquier proceso de diseño después de la selección de la propuesta, se procede con el análisis a detalle de cada uno de los elementos de la propuesta o los elementos que pueden sufrir alguna falla

El diseño de detalle es la parte del método de diseño en el cual se pulen de manera si no definitiva muy cerca de serlo, los conceptos planteados y seleccionados como soluciones satisfactorias.

Antes de proceder a un diseño de detalle existen aspectos básicos que se tuvieron que haber planteado en la generación de conceptos ya que aunque aún en ésta etapa se pueden modificar diversos aspectos la mayoría deben de ser definidos en el principio del diseño.

En nuestro caso en el diseño de éste banco de pruebas, cumplió con una serie de aspectos establecidos por el cliente y otros adicionales establecidos por nosotros dando el mayor valor agregado posible al diseño.

Para proceder con éste diseño a detalle lo primero que tuvimos que tomar en cuenta fue la ubicación de los elementos en el banco, ya que estamos restringidos a ciertas dimensiones por una cámara climática la cual contendrá el banco al llevarse a cabo las pruebas.

Las medidas de la cámara climática y sobre las cuales basamos la distribución del banco son:

- Exterior

Ancho [mm]	Profundidad [mm]	Altura [mm]	Peso [Kg]
8065	7176	4331	11818

- Interior

Ancho [mm]	Profundidad [mm]	Altura [mm]	Volumen [m^3]
4877	6706	3048	99.6



Figura [4.0] Cámara ambiental⁴

En la parte de Diseño Conceptual fue seleccionado el concepto “Servosistema”, el cual, consiste en un brazo impulsado por un servosistema integrado por un servomotor y una caja reductora, que a su vez brindan movilidad a un brazo que mueve directamente a la puerta para realizar las trayectorias de apertura y cierre de ésta.

⁴ ESPEC North America environmental test chambers.

Una de las limitantes a considerar fue determinar las posiciones que ocuparían los módulos en la configuración del banco, las que estuvieron dadas por las dimensiones de las puertas de los autos, por lo que se consideraron medidas extremas de los vehículos con los que se trabajaría, así que por la parte de valores máximos tenemos en un extremo al Ford fiesta 2013 (largo 1.12 [m], alto 1.10 [m]) y en el otro extremo tenemos a la Ford Expedition 2013 (largo 1.03 [m], alto 1.72 [m]).

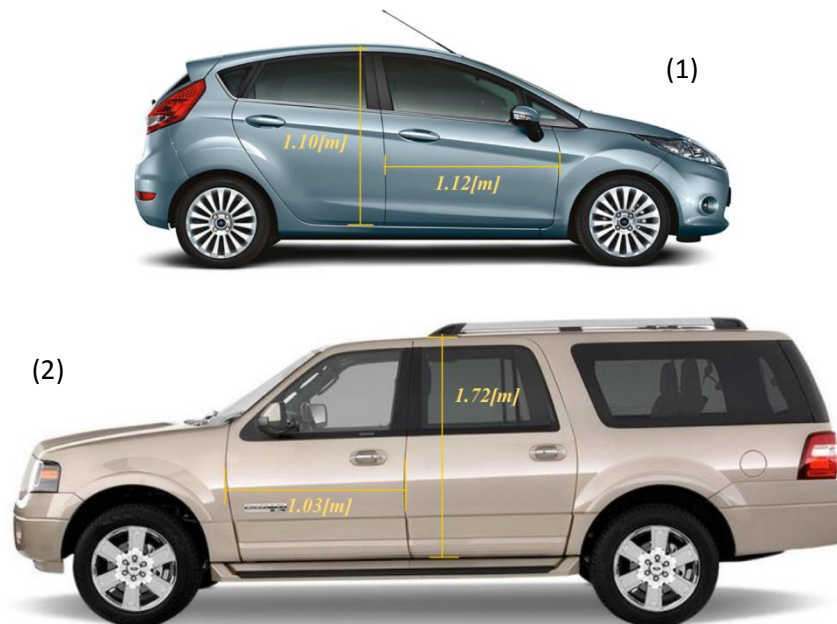


Figura [4.1] Dimensiones de puertas. (1) Ford Fiesta 2013 y (2) Ford Expedition 2013.

Por otra parte, la implementación de servomotores brinda una serie de ventajas debido a su gran adaptabilidad, los servomotores permiten cumplir con altas exigencias de velocidad y precisión de posicionamiento, además de contar con un control confiable lo cual, en el caso, de este trabajo son aspectos primordiales a considerar al estar operando la máquina durante la prueba, ya que son precisamente estos aspectos los que interesan tener perfectamente controlados durante las pruebas, en otras palabras se optó por usar servomotores debido que éste tipo de motores pueden ser controlados en su velocidad y en su posición de giro, este control es realizado mediante un dispositivo llamado encoder, que mediante una señal electrónicamente codificada, indica las acciones de velocidad y movimiento a ejecutar.

El control es instalado en un equipo computacional para permitir la manipulación de la velocidad y la posición del motor mediante la utilización de un software compatible con el que se podrán realizar tareas sumamente complejas manteniendo una estricta programación de éstas instrucciones.

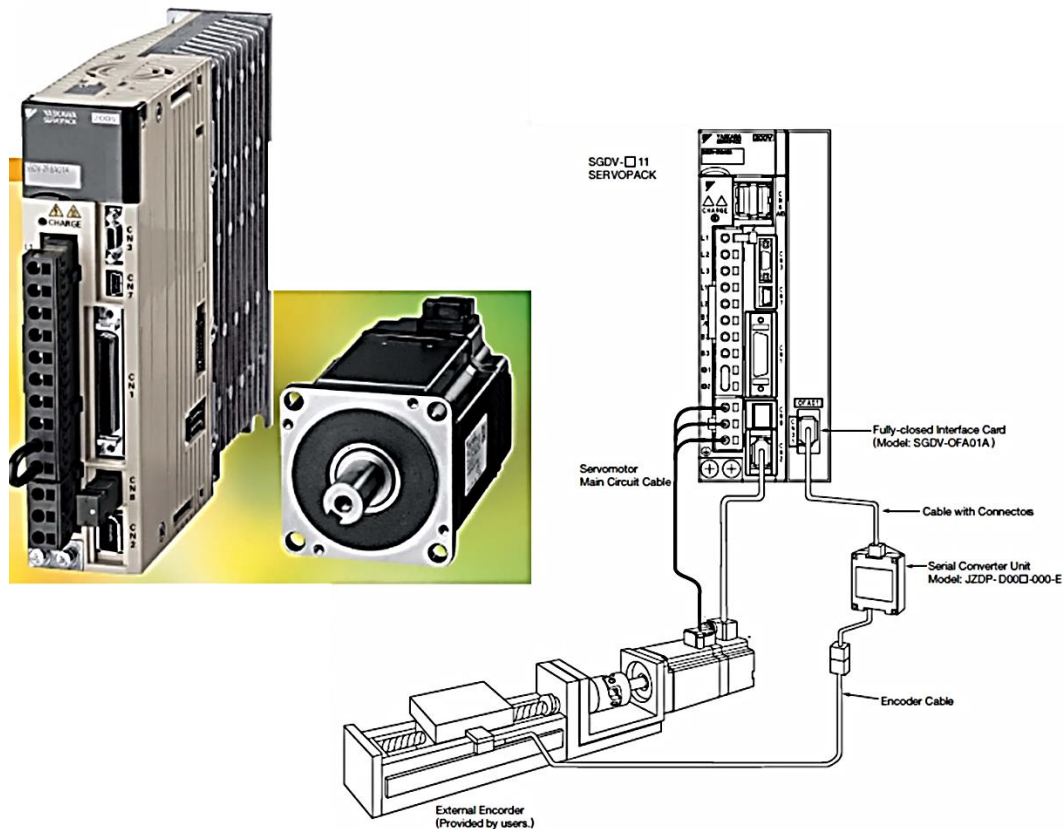


Figura [4.2] Ejemplo de servomotor y encoder además de su esquema de conexión⁵

Con este concepto definido procedimos a realizar la selección del servomotor para equipar el módulo, y satisfacer eficientemente las necesidades máximas a las cuales estaría sujeta la máquina.

En cuanto al material del cual estaría realizados los brazos, buscamos un material ligero y resistente a la vez, además de que nos diera ciertas prestaciones de adaptabilidad y de rigidez a la vez.

⁵ AC Servo Drives Σ -V Series YASKAWA America Inc.

Por lo cual se decidió utilizar perfiles o ítems de aluminio que presentan estas características y al estar diseñados para condiciones de trabajo muy exigentes tanto de tensión, compresión y torsión se consideró que no existirían problemas, al comenzar con la selección de los perfiles se pensó en dos cosas que desde un punto de vista, una anula a la otra estas son resistencia y rigidez de la estructura, y el peso total de la estructura, así que se tuvo que encontrar un balance eficiente entre estas dos características.

Un perfil o ítem de aluminio extruido se selecciona dependiendo de la aplicación y de la exigencias que ésta requiera, en nuestro caso se requería de un perfil robusto para mantener fuerte la estructura por lo cual se debía utilizar un perfil con ranuras mínimas de 10 [mm], dichos perfiles están diseñados para mesas y grandes armazones de máquinas, por lo cual serían los ideales para nuestro brazo y su aplicación dentro del banco, ya que un perfil con ranuras de menores dimensiones son destinados a aplicaciones mucho más ligeras y de menores requerimientos de rigidez.

Por otro lado, no pudimos tener un perfil robusto debido al peso extra en el banco, ya que se busca mantener el peso total del banco de pruebas lo más ligero posible, además de que el peso adicional en los perfiles es peso que el motor estaría cargando y desplazando directamente por lo que tampoco convendría tener un perfil demasiado robusto y pesado.

Por estas razones, se eligió el perfil cuadrado de 45 [mm], ya que es un perfil promedio entre las propiedades que se buscan. Cuenta con un cuerpo estructural y ranura suficientes para mantener la rigidez en la forma del brazo, además de ser ligero para ser desplazado por el motor, el esquema del perfil seleccionado se muestra en la Figura [4.3].

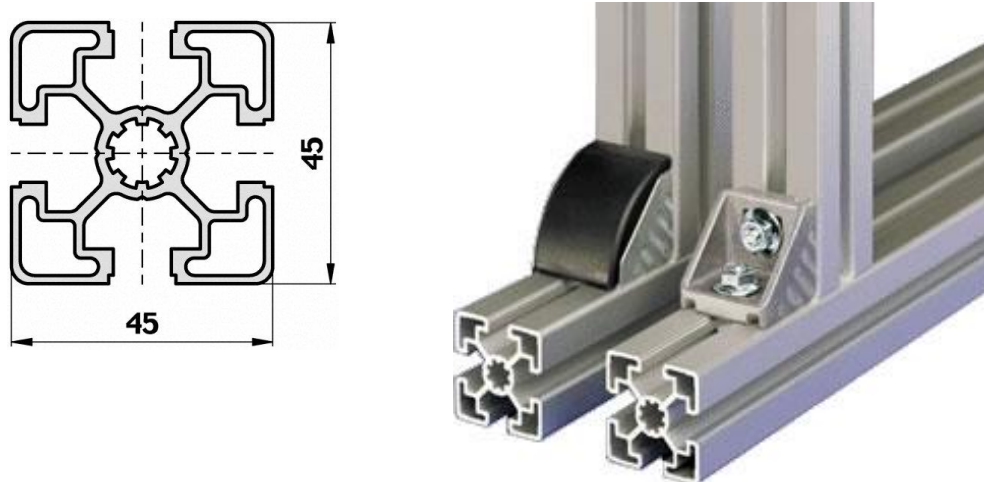


Figura [4.3] Perfil de aluminio extruido y sección transversal con dimensiones.

Una vez definido el perfil de aluminio adecuado para el brazo, así como sus dimensiones, podemos desarrollar el cálculo para obtener la aproximación al torque necesario que debe desarrollar nuestro motor para poder realizar el desplazamiento del brazo, la puerta y demás aditamentos como sujetadores, cables y sensores, se instalarán en el brazo para realizar el movimiento de apertura y cierre de las puertas.

4.1 SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR

Para calcular el par torsionante necesario vamos a realizar una aproximación por momentos de inercia para lo cual se realizaran algunas consideraciones que nos ayudaran a simplificar los cálculos.

Consideraciones:

Los perfiles serán considerados como prismas rectangulares al igual que la puerta del automóvil como se muestra a continuación.

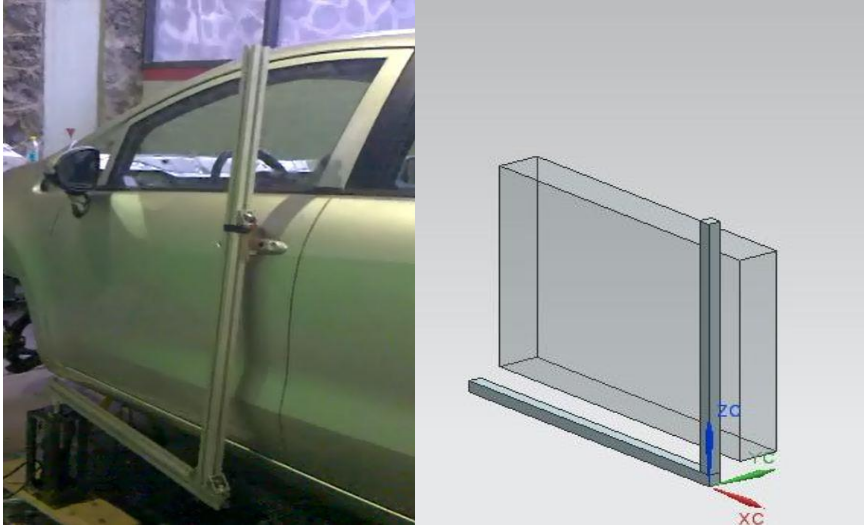


Figura [4.4]
Consideraciones del problema al elegir los elementos en el cálculo.

Para realizar el cálculo se debe tomar en cuenta el peso de los elementos, para considerar las inercias que se presentaran en el movimiento de los cuerpos, por lo que se debe calcular momentos de inercias de cada uno de los elementos y posteriormente transportarlos al eje de referencia mediante el teorema Steiner o de los ejes paralelos, en éste caso el eje de referencia será el eje de rotación ubicado en el eje Z como se muestra a continuación en la Figura [4.5].

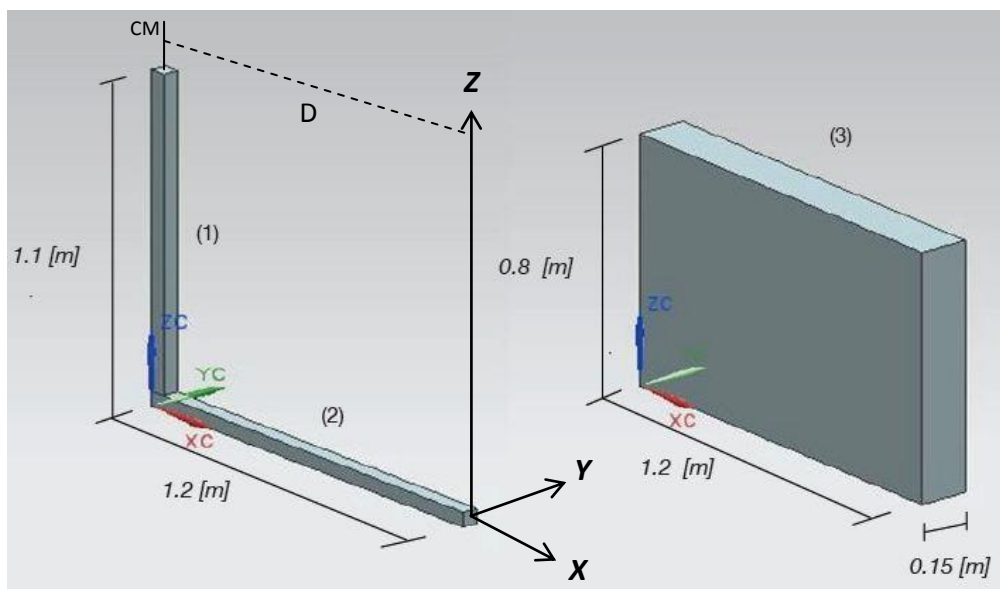


Figura [4.5] Esquema con dimensiones para realizar el calculo de momentos de inercia para los elementos 1, 2 y 3 referidos al eje de rotacion Z.

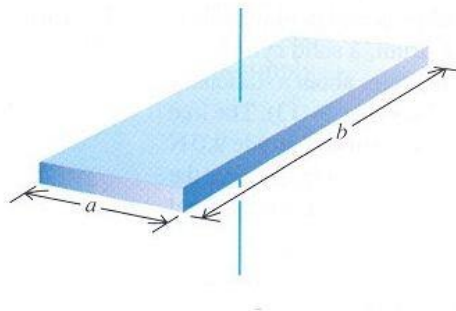
Si se sabe por especificación del fabricante BOSCH que el perfil de aluminio cuenta con un peso de 2.23 [Kg] por metro, por tanto el peso de los tres elementos involucrados en el análisis son:

$$\text{Elemento 1} = 1.1 \text{ [m]} * 2.23 \text{ [kg/m]} = 2.453 \text{ [Kg]}$$

$$\text{Elemento 2} = 1.2 \text{ [m]} * 2.23 \text{ [kg/m]} = 2.676 \text{ [Kg]}$$

Elemento 3 = 40 [kg] (El peso de éste elemento se obtuvo de forma experimental)

Se tiene que el momento de inercia de un prisma rectangular con respecto al eje que pasa por su centro de masa viene dado por:



$$I = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2)$$

Por lo tanto, tenemos que para nuestro elemento uno el momento de inercia referido al eje que pasa por su centro de masa es:

$$I_1 = \frac{1}{12} M_1(a^2 + b^2) = \frac{1}{12} 2.453 (0.045^2 + 0.045^2). \dots \dots (1)$$

Ya que se necesita referir éste momento de inercia no al eje que cruza por su centro de masa, si no al eje de rotación Z, por lo que nos auxiliaremos del teorema de Steiner el para el cual basta con adicionar a (1) el producto de la distancia entre ejes (D) al cuadrado, por la masa del elemento (M). Figura [4.5]

Por lo que se obtiene que el momento de inercia con respecto a Z del elemento uno es:

$$I_1 = \frac{1}{12} M_1 (a^2 + b^2) + M_1 (D^2) = \frac{1}{12} 2.453 (0.045^2 + 0.045^2) + 2.453 (1.1775^2)$$

$$= 3.401 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

Se realizó el mismo procedimiento con los elementos dos y tres, involucrados en nuestro análisis.

$$I_2 = \frac{1}{12} M_2 (a^2 + b^2) + M_2 (D^2) = \frac{1}{12} 2.676 (0.045^2 + 1.2^2) + 2.676 (0.6^2)$$

$$= 1.285 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

$$I_3 = \frac{1}{12} M_3 (a^2 + b^2) + M_3 (D^2)$$

$$= \frac{1}{12} 40 (0.15^2 + 1.2^2) + 40 (0.6^2 + ((0.15/2) + (0.045/2))^2)$$

$$= 19.655 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

Sumando los tres momentos de inercia se tiene que el momento de inercia total producido por los tres elementos sobre nuestro eje de rotación es de:

$$I_T = 24.341 \text{ [Kgm}^2\text{]}$$

Tomando referencias de los distintos ángulos de apertura de las puertas de los modelos de autos con los que se interactuara decidimos usar el máximo que es de 90° y es de las puertas traseras de la Expedition.

Para obtener el tiempo en el que se realizaría cada ciclo, se basó en un dato expedido en el manual, el cual indica que se deben realizar máximo seis ciclo por minuto por lo que se deduce que se cuentan básicamente con diez segundos para realizar un ciclo completo, en el cual debe suceder que la puerta se abra, se cierre, se pongan y se quiten los seguros de las puertas. Así que, se contó con alrededor de tres segundos para que la puerta recorra la trayectoria de apertura y con otros tres segundo para el cierre, éste tiempo es el considerado promedio para ésta modalidad de prueba, se debe recordar que se realizaran distintas combinaciones de pruebas involucrando apertura y cierre de puertas, bloqueo y desbloqueo de seguros y además, la inclusión de ciclos de subir y bajar los vidrios.

Con éstos datos anteriores de ángulo de apertura y tiempo en el que se abre la puerta podemos determinar la velocidad angular.

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_f - \theta_i}{t_f - t_i}$$

Donde ω = Velocidad angular

θ = Desplazamiento angular [rad]

t = Tiempo

Sustituyendo nuestros datos tenemos:

$$\omega = \frac{1.57 \text{ [rad]} - 0}{3 \text{ [s]} - 0} = 0.523 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Después de visualizar mediante pruebas el comportamiento del usuario en el uso común del automóvil, y tomando en cuenta el tiempo disponible indicado para realizar el movimiento de apertura y cierre de puertas, se propuso un perfil de velocidades que se resume en tres etapas fundamentales para un perfil típico trapezoidal, dichas etapas son

aceleración, velocidad constante y desaceleración mostrados esquemáticamente a continuación. Figura [4.6].

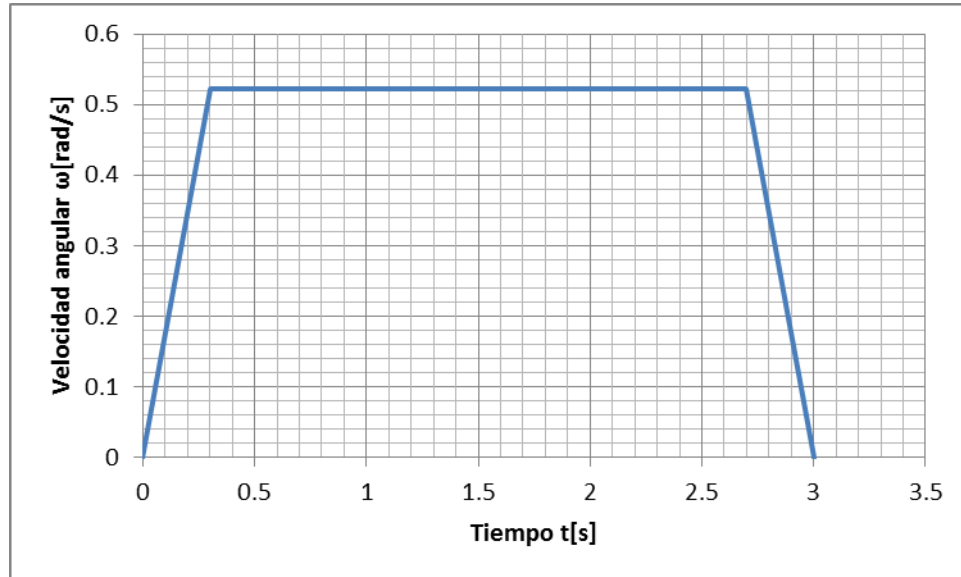


Figura [4.6] Perfil típico trapezoidal de velocidad.

El uso de servomotores nos permite manejar este tipo de perfiles de velocidad con gran facilidad, y es así que con base en nuestros tiempos totales podemos proponer una serie de rangos de tiempo los que se puede pasar para llegar a una velocidad constante requerida. Valores que determinados por tiempo y van desde cero hasta cerca de 0.3 segundos para las etapas de aceleración y desaceleración del cuerpo.

Usando el valor propuesto para el perfil de velocidad al momento de acelerar igual a 0.3 [s] podemos obtener una aceleración angular como se muestra a continuación.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i}$$

Donde α = Aceleración angular

ω = Velocidad angular [rad]

t = Tiempo

Sustituyendo nuestros datos tenemos:

$$\alpha = \frac{0.532 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]}{0.3 \text{ [s]}} = 1.773 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Finalmente se obtuvo el par torsionante de la siguiente expresión:

$$\tau = I_T * \alpha$$

Donde τ = Par torsionante

I_T = Momento de inercia total

α = aceleración angular

Sustituyendo los resultados de I_T y α en la ecuación anterior se obtiene finalmente el par necesario que debe desarrollar nuestro motor para realizar el movimiento necesario en condiciones extremas de velocidad y aceleración.

$$\tau = I_T * \alpha = 24.341 \text{ [Kg m}^2\text{]} * 1.773 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] = 43.156 \left[\frac{\text{Kg m}^2}{\text{s}^2} \right] = 43.156 \text{ [Nm]}$$

Con el dato obtenido de par se puede obtener la relación con la potencia requerida del motor mediante la expresión:

$$P = \tau * \omega$$

Donde P = Potencia del motor

τ = Par torsionante

ω = Velocidad angular [rad]

Sustituyendo nuestros datos se tiene que:

$$P = 43.156[Nm] * 0.523 \left[\frac{rad}{s} \right] = 22.57 \left[\frac{J}{s} \right] \left(\frac{1 [W]}{1 \left[\frac{J}{s} \right]} \right) \left(\frac{1 [Hp]}{746 [W]} \right) = 0.03[HP]$$

Con base en el análisis podemos determinar que los motores tendrán que ser relativamente pequeños, buscando dentro del gran abanico de posibilidades de servomotores una velocidad idónea para lograr el movimiento hasta las condiciones requeridas de diseño.

Cabe mencionar que el cálculo anterior se basó en el análisis de un solo módulo, el cual se presentara cuatro veces con el fin contar con un módulo para cada puerta del automóvil, en un arreglo similar al que se muestra a continuación en la Figura [4.7]

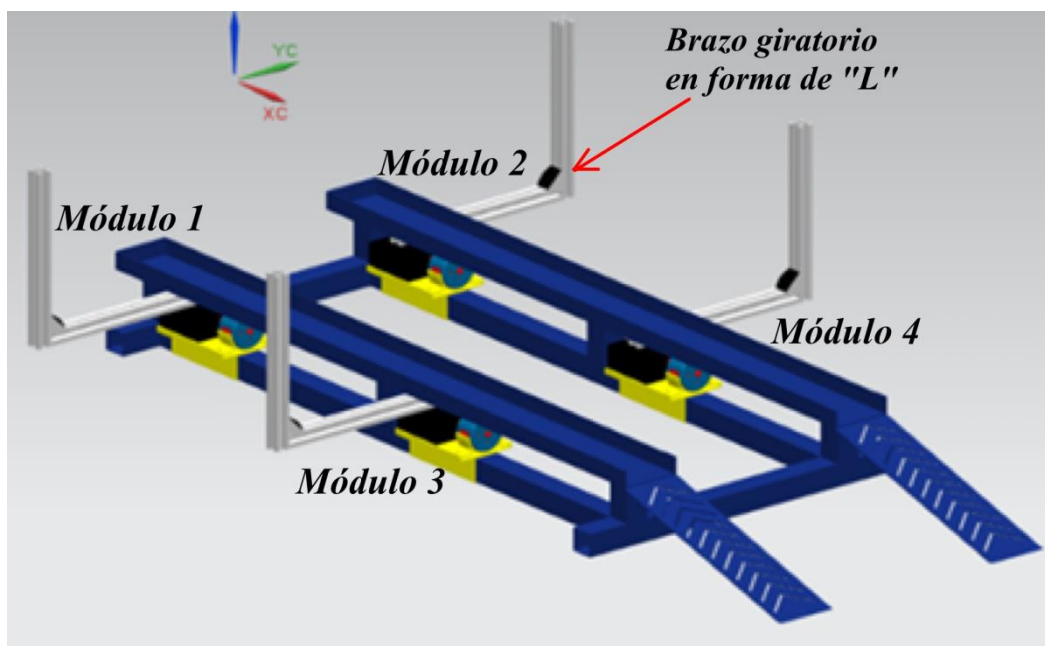


Figura [4.7] Primer arreglo de distribución de módulos dentro del banco.

Con el dispositivo mostrado en la Figura [4.7] se busca controlar de forma independiente, teniendo así la capacidad de realizar distintas combinaciones para diferentes secuencias de pruebas.

Los servomotores seleccionados fueron del modelo SGMJV-08A3 de la marca YASKAWA, de los que se muestra la ficha técnica a continuación en la Tabla [4.1]

Voltage		200 V				
Servomotor Model: SGMJV-□□□		A5A	01A	02A	04A	08A
Rated Output ^{*1}	W	50	100	200	400	750
Rated Torque ^{*1, *2}	N•m	0.159	0.318	0.637	1.27	2.39
Instantaneous Peak Torque ^{*1}	N•m	0.557	1.11	2.23	4.46	8.36
Rated Current ^{*1}	A _{rms}	0.61	0.84	1.6	2.7	4.7
Instantaneous Max. Current ^{*1}	A _{rms}	2.1	2.9	5.8	9.3	16.9
Rated Speed ^{*1}	min ⁻¹	3000				
Max. Speed ^{*1}	min ⁻¹	6000				

Tabla 4.1 Datos técnicos del servomotor SGMJV-08A3.

Se procedió a buscar una caja reductora compatible que nos entregara las características deseadas en nuestro sistema de velocidad y Par, dicha caja reductora fue la ABR115-060 de la marca APEX DYNAMICS, INC de la cual se muestran sus especificaciones a continuación en la Tabla [4.2]

GEARBOX SPECIFICATION			
MODEL : ABR115 - 060 - S1 - P1			
RATIO : 60 SHAFT : SMOOTH BACKLASH : REDUCED			
ADAPTER : P0401300102 / AD-W90-M80-2			
OLD ADAPTER NO : P4030202			
Output Torque	310 Nm	Rated Speed	4000 rpm
Max. Torque	558 Nm	Max. Speed	8000 rpm
Weight	≈14.2 kg	Inertia	2.25kgcm ²

Tabla [4.2] Especificaciones de la caja reductora seleccionada.

Con el servosistema formado por el motor y la caja reductora seleccionados, se realizó la adquisición de los equipos para construir un primer prototipo, integrando cada uno de los elementos descritos con anterioridad.

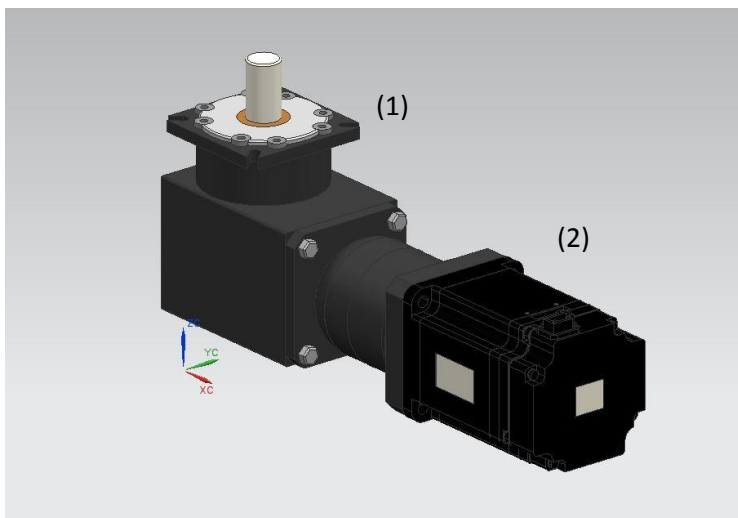


Figura [4.8] Servosistema integrado por la caja reductora ABR115 (1) y el servomotor SGMJV-08A3 (2).

4.2 PROTOTIPO Y PRUEBAS

Definimos como prototipo “Una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés”. Con ésta definición, cualquier entidad que exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo es considerado como un prototipo.

Como en muchos casos de diseño la elaboración de un prototipo es fundamental para continuar con el proceso, ya que éste permite dar respuesta a varias incógnitas que los equipos de diseño desean resolver utilizando al prototipo como una herramienta de aprendizaje.

Los prototipos se planean y construyen dependiendo de estas necesidades de solución, por ejemplo en nuestro caso requerimos solucionar varias

incógnitas que a pesar de que han sido pensadas no han sido probadas tales como: ¿Funcionará?, ¿EL servosistema podrá desplazar la puerta?, ¿Las juntas del brazo resistirán la fuerza de torsión? etc., son incógnitas que la única forma de resolverlas es en un prototipo.

Se decidió realizar un prototipo intentando observar el funcionamiento de los elementos en integración dentro de uno de los módulos, el prototipo incluyó:

- Servomotor
- Caja reductora
- Brazo y cople
- Estructura de sujeción
- Puerta

4.3 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El primer paso para construir el prototipo fue diseñar una estructura que supliera a la estructura o cuerpo del banco de pruebas, la que referiremos como *frame*.

Se decidió que el *frame* no sería incluido en este prototipo por su tamaño, los costes de fabricación eran elevados para tratarse de un prototipo, por lo cual se decidió construir un pequeño soporte y enfocarnos a un solo módulo. Se tomó ésta decisión debido a que, como se ha mencionado con anterioridad, los cuatro módulos poseerán las mismas características.

El soporte desarrollado tenía que cumplir con las principales características que el *frame* otorgaría a los módulos, como:

- Cargar por completo al módulo (servomotor, caja reductora, brazo y accesorios).
- Tener la capacidad de movilidad para ser anclado en cualquier parte del piso fácilmente.



- Brindar rigidez al módulo.

Figura [4.9] Soporte del servosistema

El brazo que se utilizó para el prototipo fue construido con perfiles de aluminio y accesorios como escuadras para rigidizar la estructura en L, además fue necesario construir un cople el cual nos dio una junta para la unión del brazo de aluminio con la flecha de la caja reductora.

Una vez teniendo todos los elementos del módulo acoplado se realizó el anclaje al piso en una posición específica, dicha posición estaría dada tomando como referencia los ejes de rotación tanto de la puerta como de la caja reductora, es decir, que la posición que se busca idealmente es cuando se hace coincidir estos dos ejes de rotación.

Para este prototipo, la programación fue realizada bajo los parámetros requeridos en la especificación de diseño cumpliendo con los números de ciclos establecidos por minuto y programando así el perfil de velocidad propuesto.

La programación del servomotor está basada en el software especializado MOTIONWORKS IEC de la compañía YASKAWA.

Tras la programación y colocación del módulo en el vehículo se procedió a correr la primera serie de pruebas que se muestran en la Figura [4.10] en donde se observa la trayectoria de la puerta al ser ciclada.



Figura [4.10] Primera serie de pruebas.

Este primer prototipo ayudó a resolver cuestionamientos que se tenían pero también a demostrar algunas variables que no se habían tomado en cuenta y que al final afectaron a la prueba.

Al correr la primera serie de pruebas en condiciones similares a las reales, se percató que nuestro servosistema traslada con facilidad el brazo y la puerta, por otro lado se percibió que el esfuerzo en la flecha de la caja reductora es muy grande, ya que se presentó la fractura del cople, aunado a esto, se observó que la torsión presente en el brazo provocada por la resistencia de la puerta es importante y ocasiona una inclinación y una alta vibración no deseada en el módulo.



Figura [4.11] Fractura del cople.

Debido a los problemas suscitados y a las consideraciones no tomadas en cuenta durante la prueba, los cambios que se propusieron en una segunda iteración fue la presencia de chumaceras en una estructura externa al servosistema reduciendo así los momentos aplicados a ésta.

En cuanto a la estructura del brazo se decidió reforzarlo y así buscar rigidizarlo para disminuir la torsión.

Se observó que el brazo podría comportarse mejor si tuviera otro apoyo en la parte superior presentando una forma de arco cerrado en vez de una forma en L.

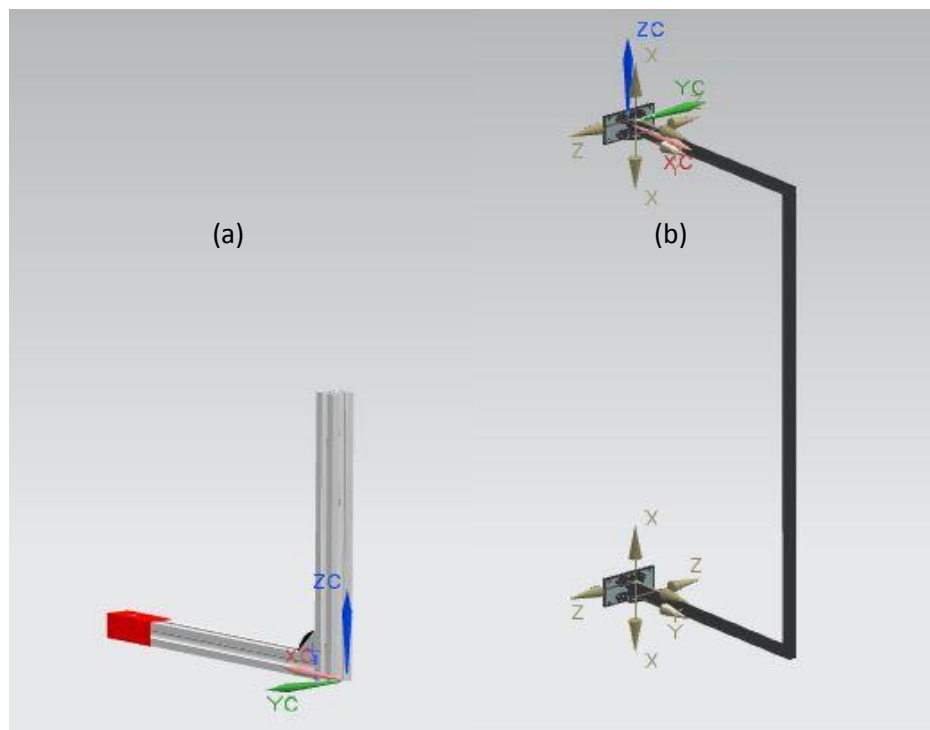


Figura [4.12] (a) Brazo con un apoyo en forma de L. (b) Brazo con dos apoyos en forma de C.

Con un nuevo arreglo en C se debe considerar el peso adicional que este generará ya que en el cálculo para seleccionar el motor (página 47) se consideró una estructura en L, cuyo peso es aproximadamente la mitad al del nuevo brazo en C, debido a que el brazo en C es prácticamente dos

brazos en L unidos por uno de sus extremos, por lo cual consideramos prudente realiza un nuevo cálculo con esta nueva estructura, para tener la certeza que el servosistema seguirá actuando sin problemas.

Se realizó el cálculo de momento de inercia para el nuevo brazo en C y tomando en cuenta las consideraciones planteadas en este trabajo de tesis obtuvimos los siguientes resultados:

Momento de inercia total = 29.028 Kgm²

Usando la siguiente expresión:

$$\tau = I_T * \alpha$$

Donde τ = Par torsionante

I_T = Momento de inercia total

α = aceleración angular

$$\tau = I_T * \alpha = 29.028 [Kg m^2] * 1.773 \left[\frac{rad}{s^2} \right] = 51.466 \left[\frac{Kg m^2}{s^2} \right] = 51.466 [Nm]$$

Con este nuevo resultado se asegura que la modificación no afecta nuestra selección de servosistema.

4.5 ESTRUCTURA Y CUERPO DEL BANCO

En éste punto del proceso de diseño se tuvo una plática con el equipo de Ford, en la cual, solicitaron una estructura capaz de dar la base para futuros aditamentos al banco de pruebas, por lo que después de pláticas con el cliente se decidió cambiar el diseño de *frame* tipo plataforma por un diseño de *frame* tipo jaula como se describe a continuación.

Una primera propuesta consideraba una plataforma móvil, esto quiere decir que la posición del servosistema se movería en dos ejes paralelos a los rieles permitiendo el alineamiento del eje de la flecha de la caja reductora con el eje de la puerta del vehículo consiguiendo la posición ideal.

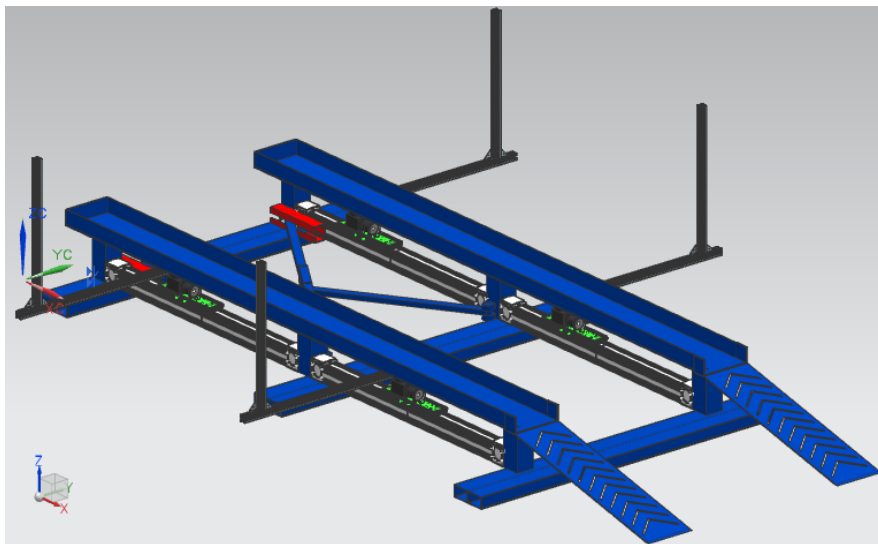


Figura [4.13] Primera propuesta de plataforma móvil.

El movimiento en eje “X” se lograban por medio de un riel neumático que desplazaba al servosistema a la posición indicada y el movimiento en el eje “Y” se realizaba por un mecanismo de tijera accionado manualmente dependiendo de las dimensiones del vehículo sujeto a prueba como se observa en la Figura [4.14].

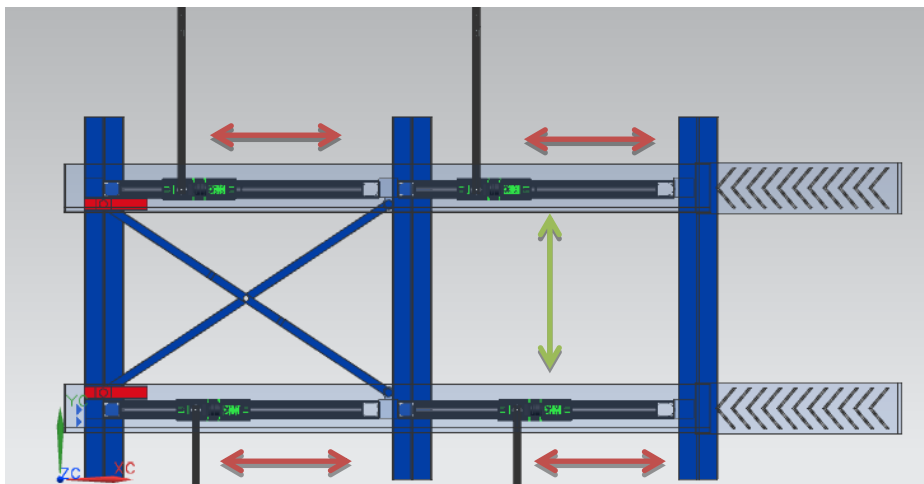


Figura [4.14] Movimientos principales de los componentes del banco.

Esta propuesta se tuvo que descartar debido a que el cliente consideró que el trabajo de calibración de la máquina sería no viable para su uso en planta, además de la falta de rigidez al brazo, como se mencionó con anterioridad cuando se realizaron las primeras pruebas con la falla del cople, por lo que se optó en rediseñar la plataforma e introducir un nuevo concepto de solución a la alineación del eje de rotación al eje de la puerta.

Este concepto consistió en encontrar un punto de rotación común el cual se encontraría fijo dentro del banco y mediante un dispositivo extra en el brazo compensar el desfase de los dos cuerpos, el brazo y la puerta del automóvil.

El punto de rotación común propuesto fue encontrado con base en dimensiones de los vehículos sujetos a prueba obteniendo un punto fijo y útil para todos los modelos de autos contemplados.

En la siguiente imagen se muestra esquemáticamente los extremos en tamaño de los vehículos y las trayectorias seguidas por sus puertas así como el nodo propuesto y su ubicación dentro del banco.

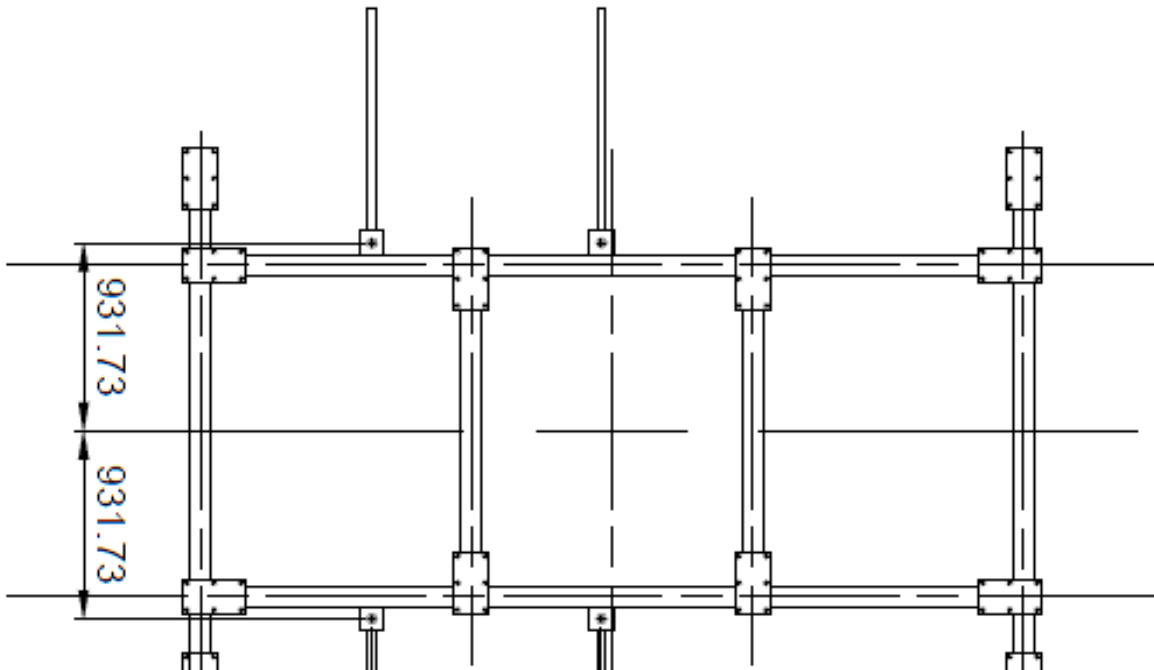
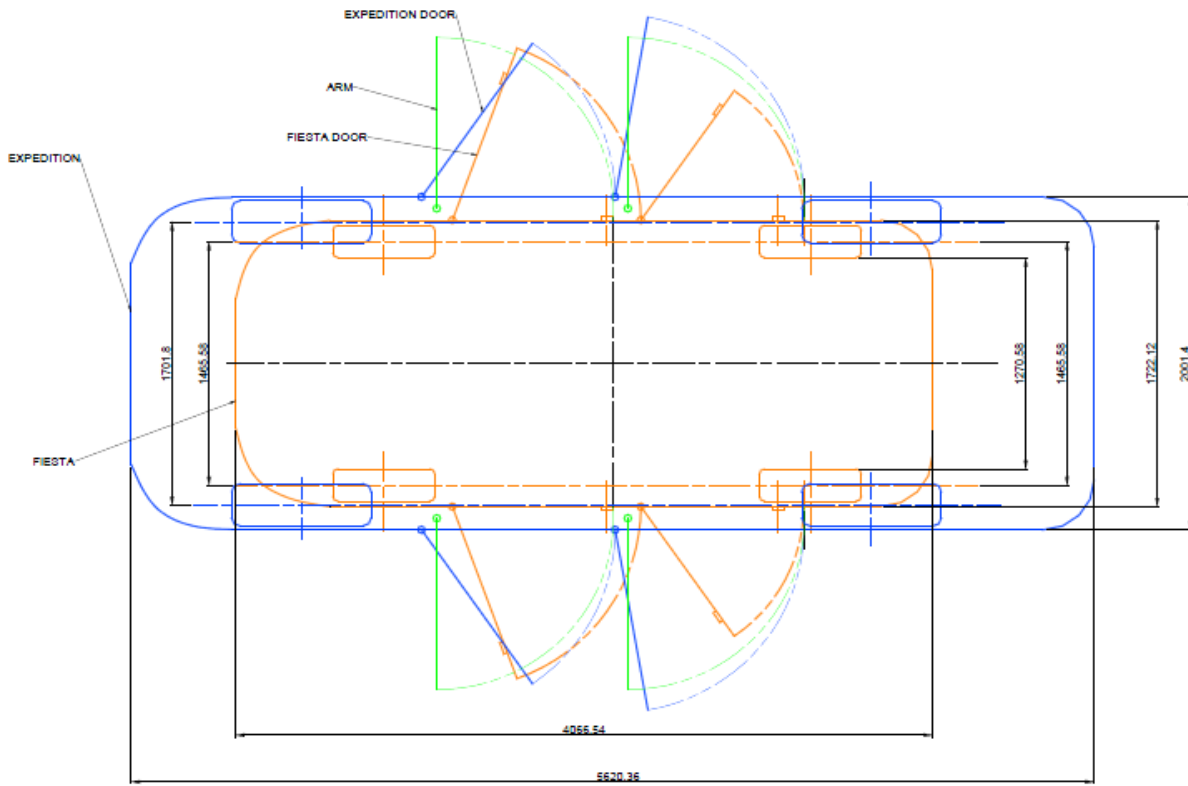
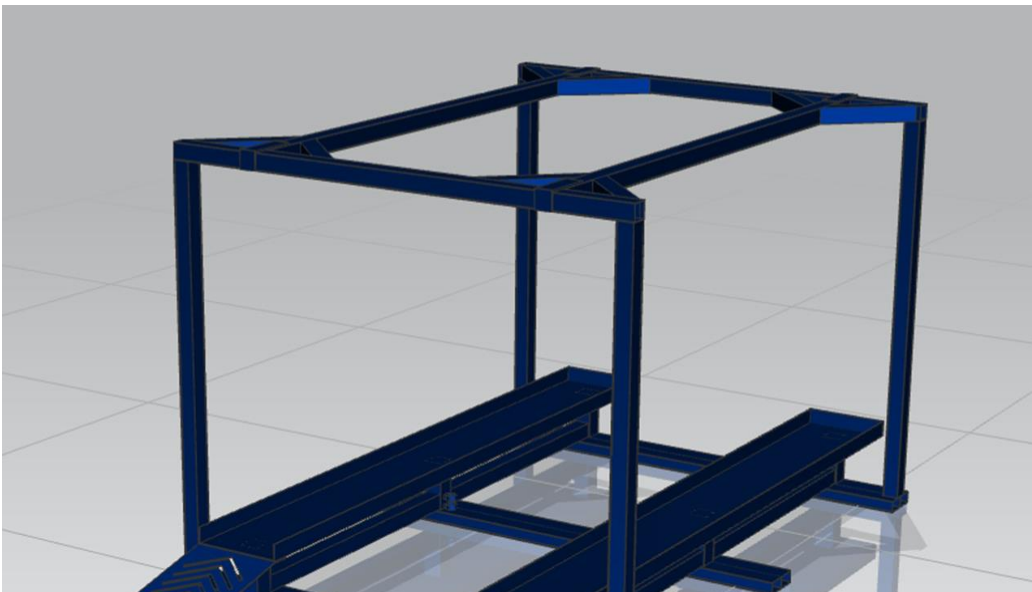


Figura [4.15] Esquema de nodos y trayectorias de las puertas de distintos vehículos. Todas las dimensiones en [mm].

Por otro lado, para evitar el desplazamiento de los rieles en el eje “Y” Figura [4.14], se propuso diseñar los rieles de tal manera que fueran de un tamaño exacto para acoplar interna y externamente las llantas con el riel de los modelos de autos extremos, como se muestra a continuación.

Para los autos intermedios entre éstos dos tamaños utilizamos guías fijando las llantas de éstos a los límites de los rieles por medio de aumentos, con lo cual conseguimos tener una posición definitiva del auto durante la prueba.

La propuesta final con el diseño de la estructura “*frame*” tipo jaula fue tomando en cuenta los requerimientos anteriormente mencionados en el cual presentamos una estructura funcional la cual nos brinda espacios y soporte para la correcta distribución de los elementos constitutivos del banco de pruebas así como la posibilidad de tener espacios libres para su futuro uso en diferentes aplicaciones, característica que fue pedida por el cliente, la estructura básica de la estructura “*frame*” se muestra a continuación en la Figura [16].



Para decidir el material nos auxiliamos del programa Unigraphics NX 8.0, en el cual realizamos análisis por elementos finitos de la estructura, sometiendo a esta a los requerimientos de la prueba, debido al uso en planta en cuanto a transporte y sujeción aunado a las necesidades de modularidad del *frame* por sí mismo.

En cuanto al material decidimos utilizar un acero A36 debido a su aplicación comercial ya que es considerado como un acero estructural.

Por otra parte al realizar nuestro análisis acerca de las exigencias a las que estaría sujeto el material asignado a nuestra aplicación, comprobamos que las características de éste acero son una buena opción para nuestra aplicación aunado a un buen desempeño considerando nuestras necesidades, obteniendo adicionalmente una ventaja económica frente a otro tipo de aceros.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	in 200 mm
	23 %	23 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Compressive Yield Strength	152 MPa	22000 psi	Allowable compressive strength
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.26	0.26	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	

Tabla [4.3] Propiedades del acero A36.

Después de seleccionar el material adecuado por sus propiedades, decidimos utilizar perfil tubular rectangular (PTR) para su ensamblado y de una sola medida para favorecer su modularidad.

La primera propuesta fue de un PTR cuadrado de 4 pulgadas con un calibre 14 (1.9 mm), el cual se analizó mediante un FEM sometido a las cargas significativas que presentaría durante la prueba además de carga adicional previendo cargas futuras a disposición del cliente, en un total de 3500 [Kg] obteniendo los siguientes resultados en las Figura [4.17] y [4.18].

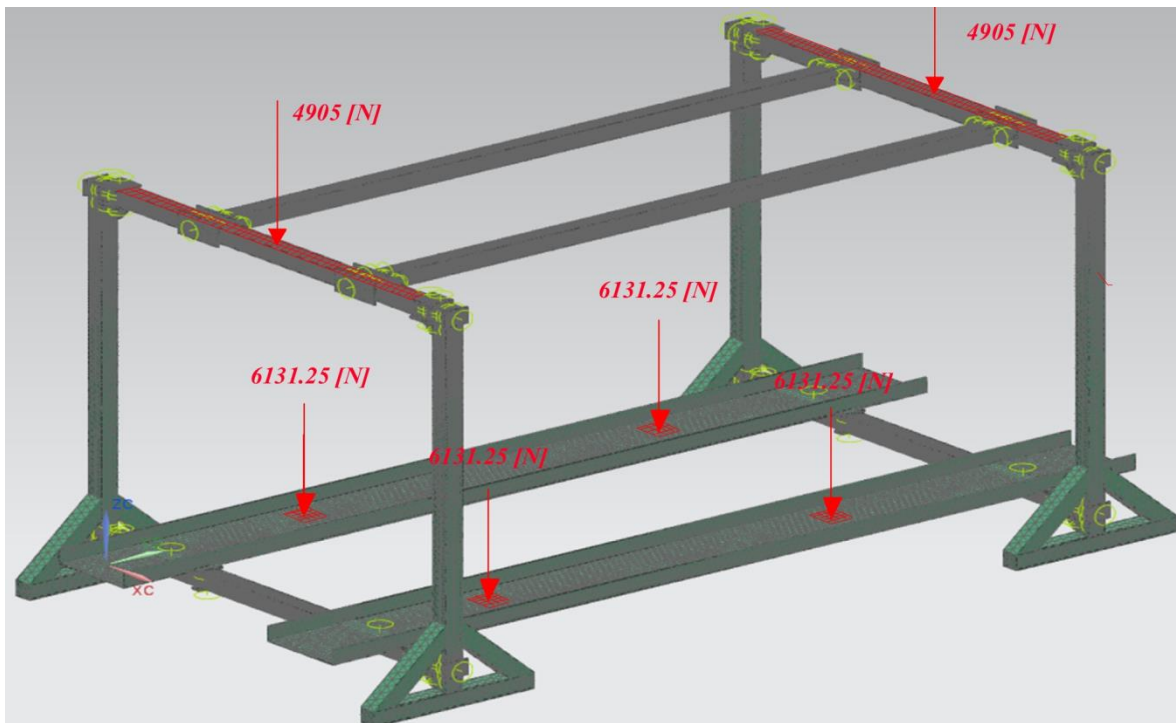
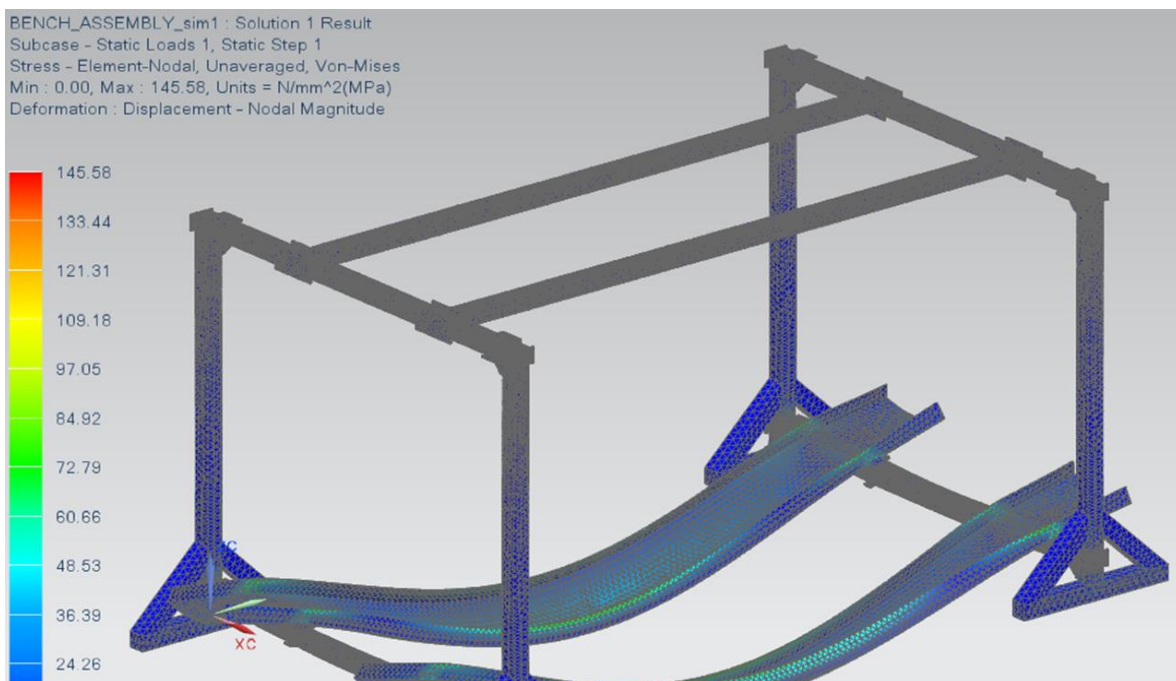


Figura [4.17] Distribución de cargas durante el análisis.



Como se observa en los resultados arrojados por el Método de Elementos Finitos (FEM), la estructura se encuentra muy por encima en sus características mecánicas para nuestra aplicación, esto se sabe comparando básicamente el esfuerzo de cedencia de nuestro material con los resultados obtenidos con los esfuerzos registrados en la prueba. Como observamos en la imagen anterior el máximo esfuerzo registrado es de 145.8 [Mpa] y comparándolo con nuestro material estamos por debajo de su límite de cedencia que es de 250 [Mpa], con este resultado decidimos optimizar aún más el tamaño de nuestro PTR logrando disminuir el peso del banco así como ventajas en costos sin sobrepasar las características del acero y optar por uno más pequeño.

Un problema que se nos presentó es que el programa Unigraphics NX 8.0 al igual que los programas de este tipo se tiene que dibujar primero el modelo para posteriormente realizar un análisis por elementos finitos, lo cual mostraba un problema debido al tiempo que nos llevaba realizar cada iteración para los diferentes tamaños de PTR y calibres que deseábamos someter a prueba, por lo cual nos auxiliamos de un programa realizado en Mathematica 8.0, el cual nos ayuda a calcular la sección transversal de una estructura exigida a distintos requerimientos, la ventaja principal de este programa es que nos ahorra mucho tiempo máquina dándonos resultados confiable al compararlos con los obtenidos en Unigraphics NX 8.0.

Tras correr una serie de pruebas en el programa pudimos darnos cuenta que podíamos seleccionar hasta un perfil de 2 1/2 pulgadas con un calibre de 3/16 sometiendo al material a sus máximas capacidades antes de ser deformado, esto quiere decir que el esfuerzo máximo presentado en

este análisis es 269.326 [MPa] con lo cual estamos superando el esfuerzo de cedencia del material el cual se indica en 250 [MPa], como sabemos que el análisis por elementos finitos es solo una aproximación y en nuestros análisis tomamos casos extremos de carga, consideramos que éste perfil puede ser de utilidad para ésta aplicación, sin embargo decidimos tomar una medida de PTR por encima de ésta, la cual nos brinda una mayor confiabilidad además de reducirnos el peso del banco alrededor de 1 [Kg] por metro.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los resultados principales obtenidos mediante el análisis de elemento finito a distintos tamaños y calibres de PTR del acero A36.

PTR	Esfuerzo Máximo registrado por FEM	Esfuerzo de cedencia del material
4"X4" calibre 14 (1.9 mm)	145.58 [MPa]	250 [MPa]
3 ½" X 3 ½" calibre 14 (1.9 mm)	178.205 [MPa]	250 [MPa]
3"X3" calibre 10 (3.4 mm)	210.83 [MPa]	250 [MPa]
2 ½" X 2 ½" calibre 3/16 (4.8 mm)	269.326 [MPa]	250 [MPa]

Tabla [4.4] Resultados obtenidos mediante FEM a diversos PTR.

Como se observa en la Tabla [4.4] el PTR que mejor cumple nuestras necesidades a nuestra consideración es el PTR cuadrado de tres pulgadas con calibre 10, ya que según nuestros análisis se encuentra en un rango de exigencia aceptable ya que no se encuentra sobrado pero seguimos estando en un margen seguro por debajo del esfuerzo de cedencia indicado por el material con lo cual podemos concluir que esta es la mejor opción para manufacturar la estructura “frame” del banco de pruebas.

En las siguientes figuras se observan los resultados de aplicar un análisis por elementos finitos “FEM” a la estructura “frame” con el PTR seleccionado dados por Unigraphics NX 8.0.

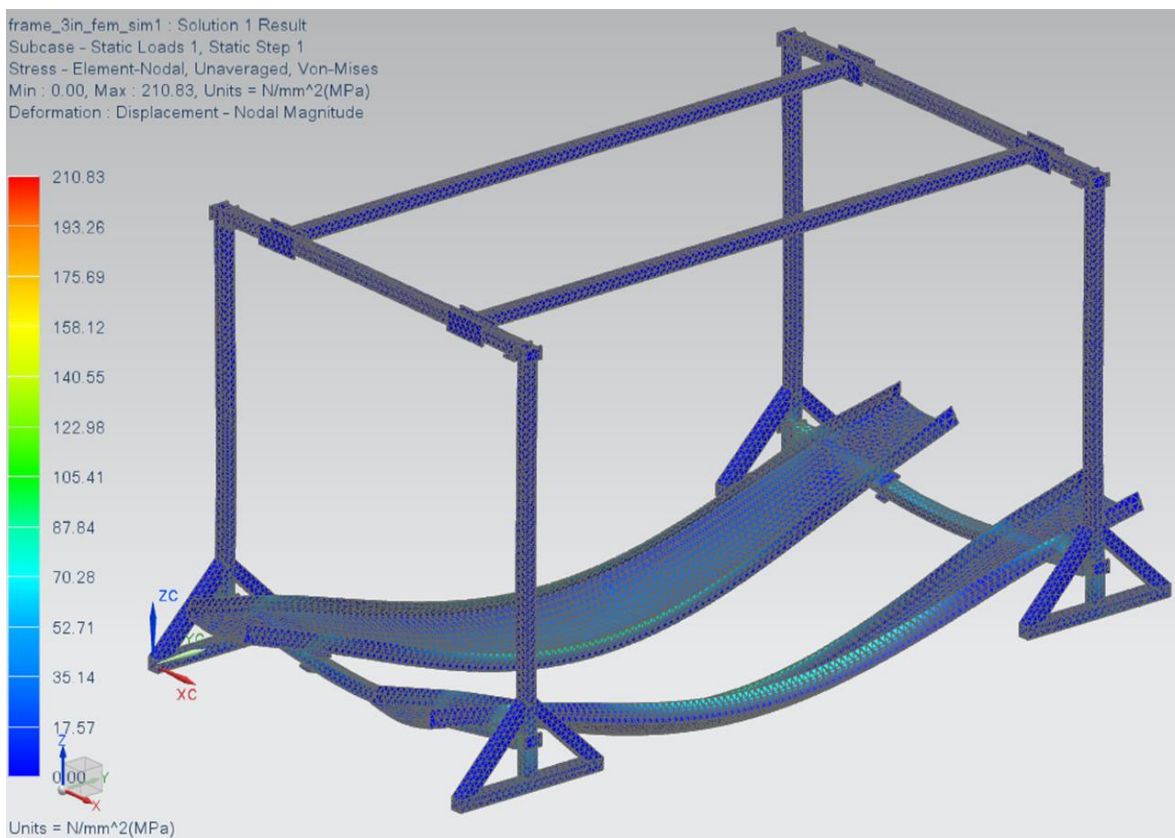


Figura [4.19] Resultados del análisis por elementos finitos del frame con PTR cuadrado de 3" con calibre 10.

Con los elementos definidos tras un diseño de detalle del brazo en C, del servosistema, y de la estructura “*frame*”, se da paso a una nueva etapa en la cual se llevara a cabo la construcción y ensamblado del banco de pruebas.

Capítulo 5

CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

Una vez decidido el diseño de la estructura “*frame*” y optimizado para su manufactura nos auxiliamos de un taller especializado en construcción y manufactura para fabricarlo, cabe mencionar que la optimización del diseño de la estructura “*frame*” para su manufactura, estuvo referida a lograr una mayor modularidad debido a que la maquina estará sujeta a constante movilidad y cambios de sede, por lo que debe de tener la capacidad de ser desensamblada por completo para hacer posible su transporte a pesar de su gran tamaño.

A continuación se muestra una serie de imágenes en las que se puede apreciar el proceso de armado de la estructura “*frame*”.



Figura [5.1] Base de columna (Vista isométrica).

Figura [5.2] Base de la columna con detalle en la sujeción del travesaño inferior.

En la Figura [5.1] y Figura [5.2] se puede observar la base de las columnas de la estructura “frame” en las que se montaran una rueda ajustable en altura por medio de apuntalamientos telescópicos, las que nos ayudarán en la movilidad del banco dentro de su espacio de trabajo. Además la geometría triangular del soporte nos brinda mayor rigidez y estabilidad en el momento de su operación. Otro punto importante es la sujeción del travesaño, que se logra por medio de bridas con cuatro tornillos de alta resistencia.



Figura [5.3] Proceso de ensablado del “frame” (Ensamble de los travesaños y largueros).



Figura [5.4] Proceso de ensablado del “frame” (Ensamble de los rieles).

En la Figura [5.3] se puede apreciar el ensamble de los travesaños y largueros que brindaran el soporte en la parte superior de la estructura “frame”, los largueros superiores se podrán posicionar dependiendo del vehículo para poder lograr el centro de giro de la puerta.

La Figura [5.4] muestra el ensamble de los rieles, que estarán colocados por encima de dos travesaños inferiores en los cuales se tendrá la capacidad de deslizamiento para su posicionamiento y ajuste a cada auto.

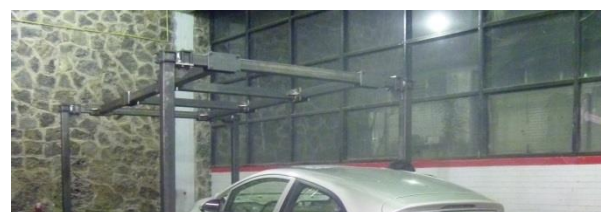


Figura [5.5] Ajuste de rieles.

Figura [5.6] Posicionamiento del automóvil.

En la Figura [5.5] se muestra el proceso de ajuste de rieles, el cual se logra por medio del deslizamiento de estos sobre los travesaños inferiores, este movimiento se realiza para lograr la distancia entre llantas y así poder ingresar el auto para realizar las pruebas como se muestra en la figura [5.6].



Figura [5.7] Ensamble final del "frame".

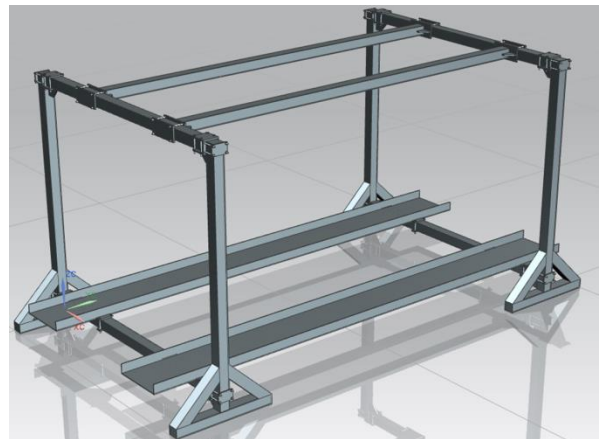


Figura [5.8] CAD del ensamble final del "frame".

En la Figura [5.7] y Figura [5.8] se muestra la comparación de la estructura básica del banco de pruebas es su versión en CAD y en su versión construida sobre la cual se colocara el servosistema, el brazo en C, el banco interior y el sistema de control.

Una vez concluido el ensamblado de la estructura "frame" se procedió al armado y ensamblado de los brazos externos, los cuales de la misma forma se rediseñaron tanto en su estructura como en sus apoyos para su



manufactura. En las siguientes figuras se muestra el ensamble de uno de los brazos y su colocación en el banco de pruebas mediante bridas.

En la Figura [5.9] se muestra la configuración del apoyo del brazo en la

Figura [5.9] Apoyo superior del brazo móvil.

Figura [5.10] Apoyo inferior del brazo móvil y servosistema.

estas y un cople para la sujeción del brazo, como se muestra, todo este sistema se puede deslizar en el larguero superior e inferior para un ajuste al centro de rotación de la puerta.

Figura [5.10] Esta imagen se compone del servosistema colocado por debajo del riel y un cople que conecta la flecha de la caja reductora con el brazo móvil.



Figura [5.11] Ensamble de brazo en C en el "frame" con puerta abierta.

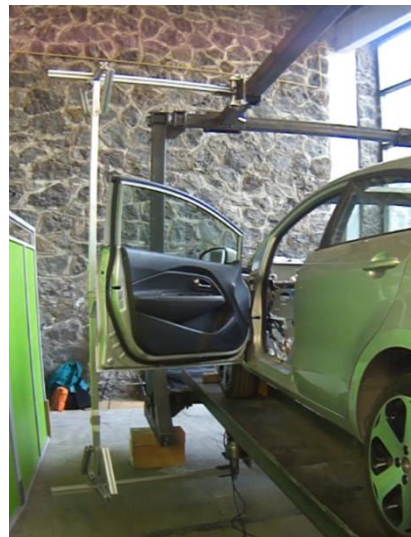


Figura [5.12] Ensamble de brazo en C en el "frame" con puerta cerrada.

En la Figura [5.11] se muestra el brazo móvil colocado en la posición de cierre de puerta, también se puede apreciar que el servosistema se encuentra por debajo del riel muy cerca del eje de giro de la puerta.

Figura [5.12] En esta imagen se puede observar el brazo móvil en la posición final de apertura de la puerta.

Como se mencionó en el capítulo 3 “Diseño conceptual”, los alcances de éste trabajo de tesis abarcaban solo al diseño conceptual del banco de pruebas interno, afortunadamente para el desarrollo del proyecto pudimos lograr un modelo funcional de éste, el cual cumple con las funciones de accionar los elementos de vidrios y seguros.

En las siguientes imágenes se observa la estructura del banco interior colocado en el auto de prueba.



Figura [5.13] Prototipo funcional para el banco de pruebas interno.



Figura [5.14] Articulaciones del prototipo funcional interno.

En la Figura [5.13] y Figura [5.14] se observa el banco interno que está conformado por elementos de aluminio, los cuales brindan un fácil posicionamiento del banco, también se pueden observar dos pistones

neumáticos que estuvieron a prueba para el accionamiento de los botones de apertura y cierre de puertas.

A continuación se observa la Figura [5.15] del modelo en CAD del banco de pruebas interno, el cual nos facilita ver la distribución de los cilindros neumáticos así como del brazo interno.



Figura [5.15] Modelo en CAD de la propuesta de solución para el banco de pruebas interno

Durante las pruebas realizadas con éste modelo funcional se detectan algunas variables importantes a considerar durante la prueba, aun así tuvimos la oportunidad de poner a prueba algunos conceptos planteados y así mismo obtener algunas alternativas de solución para un diseño final.

Como se mencionó en éste trabajo de tesis el banco se encontrará realizando su función dentro de una cámara climática de dimensiones establecidas en el Capítulo 4 “Diseño de detalle”, la distribución del banco de pruebas externo tanto interno como se muestra esquemáticamente en la Figura [5.16], Figura [5.17] y Figura [5.18].

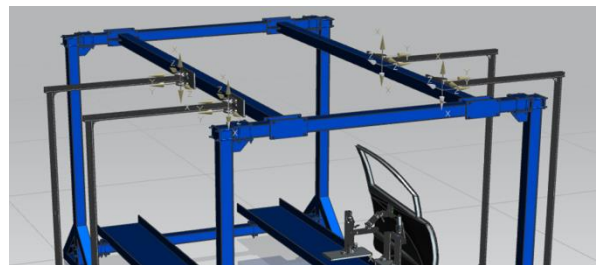
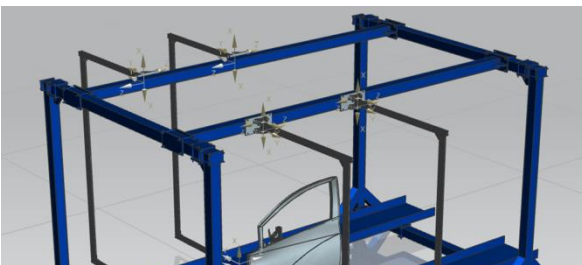


Figura [5.16] Distribución final de todos los elementos del banco de pruebas en interacción.

Figura [5.17] Distribución final de todos los elementos del banco de pruebas en interacción.

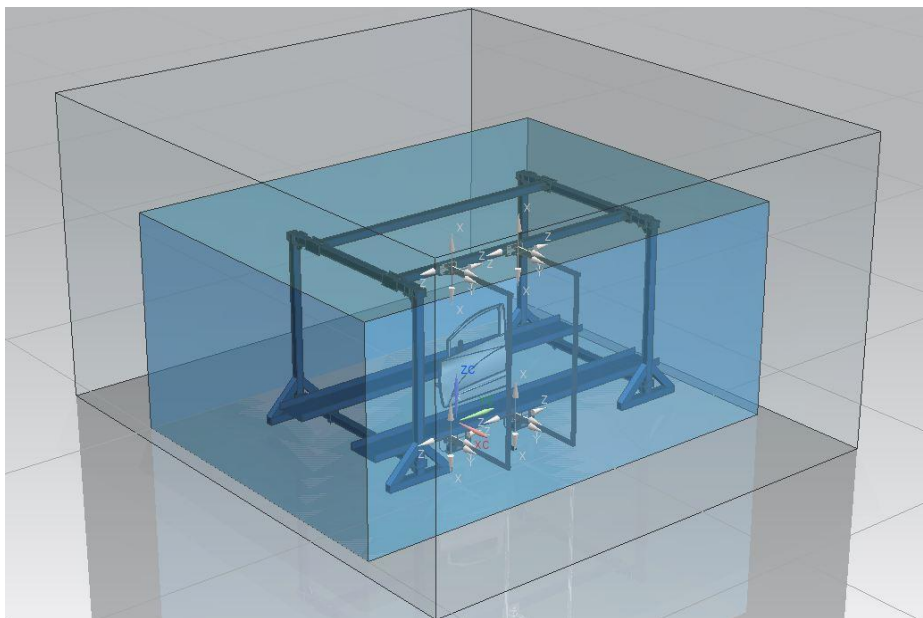


Figura [5.18] Distribución final del banco de pruebas dentro de las cámaras climáticas.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Al finalizar con el presente trabajo de tesis se concluyó que el objetivo fue alcanzado, ya que se obtuvo una propuesta conceptual adecuada que resuelve el problema principal. Dicho problema fue desarrollar un diseño conceptual de un banco de pruebas con la capacidad de abrir y cerrar puertas de un automóvil, así como de accionar los botones para subir y bajar vidrios, además de poner y quitar seguros, todo esto emulando movimientos que haría un usuario durante el uso normal de un automóvil.

Se tuvo además la posibilidad de lograr desarrollar un proceso de diseño de detalle para la parte externa del banco de pruebas llegando hasta la etapa de construcción en cuanto a la parte interna del banco de pruebas logramos desarrollar un prototipo funcional el cual se sigue desarrollando para poder llegar a una versión final.

En cuanto a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con la estructura “*frame*” y los brazos en C aplicando las pruebas a autos reales, podemos concluir lo siguiente:

- Los materiales fueron seleccionados de manera adecuada ya que el material resiste, soportando el peso total del banco completamente ensamblado y al autos más pesado sometido a pruebas.
- El servo sistema compuesto del servomotor y la caja reductora trabaja bastante bien aun exigiéndole carga extra durante la prueba.
- El perfil de aluminio funciona bien y presenta un buen comportamiento durante la prueba, pero observamos algunos

problemas de rigidez que se presentan al transcurrir un cierto número de ciclos principalmente en el perfil del apoyo inferior por lo cual consideramos realizar una nueva iteración del brazo en C, teniendo como primera propuesta cambiar el perfil por tubular y uniones tipo brida.

Para las primeras pruebas realizadas con la parte interna del banco de pruebas se puede concluir lo siguiente:

- La selección de ítem de aluminio fue la elección correcta a nuestro criterio ya que nos otorga una gran versatilidad en cuanto a movilidad de los elementos sin perder rigidez, ventaja que nos brindan los accesorios especiales para este tipo de ítems.
- Se presentaron algunos problemas de exactitud para la colocación de los actuadores en el sitio correcto para actuar los botones debido a las reacciones que se generan en el auto tras recibir el golpe del cierre de puertas ciclo tras ciclo.
- La selección de la neumática para la parte interna resultó acertada debido a que podemos presentar un mejor control, un mejor monitoreo y una completa integración de nuestra máquina auxiliándonos de Labview.

Como conclusión final se considera que la solución que se propone a la necesidad presentada por Ford Motor Company puede ser adoptada siendo una solución factible e innovadora apta para formar parte de su centro de validación de alta tecnología brindando a ésta una alternativa de maquinaria diseñada y desarrollada en México.

Adicionalmente este trabajo de tesis puede servir y servirá como base para futuros desarrollos en maquinaria de este tipo así como un precedente de la vinculación que existe entre la Universidad Nacional Autónoma de México con empresas internacionales favoreciendo así el crecimiento personal y profesional de los estudiantes con el fin de prepararlos para enfrentar los nuevos retos tecnológicos.

ANEXOS

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

CONFIDENCIAL

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS, Karl T. Ulrich, Steven D Eppinger, Ed. McGrawHill, Cuarta Edición.
- MECÁNICA DE MATERIALES, Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnson, Jr. John T. DeWolf, Ed. McGrawHill, Tercera Edición, Apéndice B.
- Deima ingenieros, (nd). Sistemas de Ensayo a la Fatiga para Elementos Auxiliares del Automóvil. Obtenida el 20 de septiembre de 2012, de <http://www.deima.biz/index.php?id=5&lang=esp>
- Curiel sanz e, (nd). Estudio del comportamiento en fatiga de un brazo de elevadoras sometido a ensayos de funcionalidad. Obtenida el 23 de septiembre de 2012, de <http://www.gef.es/Congresos/21/pdf/7-01.pdf>
- ITIM, (1991). Herrajes. Fatiga estática y dinámica. Obtenida el 25 de septiembre de 2012, de http://www.infomadera.net/uploads/publicaciones/pdf_103_Comportamiento%20a%20la%20fatiga%20de%20herrajes%20en%20el%20mobiliario.pdf
- Símbolo de calidad blog, (nd). Ensayo de durabilidad de puertas. Obtenida el 29 de septiembre de 2012, de <http://www.simbolocalidad.com/blog/ensayo-de-durabilidad-de-puertas>
- ENCOPIM BOOSTING INNOVATION, (nd). Elementos móviles de carrocería (Automoción). Obtenida el 1 de octubre de 2012, de <http://www.encopim.com/es/Productos/Elementos-moviles-de-carroceria-Automocion>
- Aficionados a la mecánica, (2011). Elevadoras Eléctricas. Obtenida el 2 de octubre de 2012, de <http://www.aficionadosalamecanica.com/elevadoras-electricas.htm>

- MINJO PRECISION GEARING, (nd). MRA right-angle planetary gearbox. Obtenida el 10 enero de 2013, de http://www.mijno.com/Right-angle_planetary_gearbox_28
- ESPEC, (nd). ESPEC Test chambers. Obtenido el 15 de enero de 2013, de http://www.espec.com/na/gallery/image_med/85/drive_in
- YouTube, (2009). MGA Research Vehicle Door Slam Testing, Lifecycle and Durability. Obtenido el 3 de febrero de 2012, de <http://www.youtube.com/watch?v=Wu1s09QZCIU>
- YouTube, (2010). Automotive Door Latch Endurance Test Rig. Obtenido el 5 de febrero de 2013, de <http://www.youtube.com/watch?v=4GIRUIDh10Q>
- YouTube, (2012), 2012 Range Rover Evoque – Quality and Durability Testing. Obtenido el 22 de febrero de 2013, de <http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=4XD60I-FFm8&feature=endscreen>
- MatWeb, (nd). ASTM A36 Steel, bar. Obtenido el 22 de febrero de 2013, de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d1844977c5c8440cb9a3a967f8909c3a&ckck=1>
- Cadena de Suministro, (nd). La nueva Transit Custom de Ford supera las pruebas más severas de durabilidad. Obtenido el 14 de diciembre de 2012, de <http://www.cadenadesuministro.es/noticias/la-nueva-transit-custom-de-ford-supera-las-pruebas-mas-severas-de-durabilidad/>
- Bolido, (nd). Chevrolet nos muestra como testeó la durabilidad del Camaro convertible. Obtenido el 5 de diciembre de 2012, de <http://www.bolido.com/2011/05/chevrolet-nos-muestra-como-testeo-la-durabilidad-del-camaro-convertible/>