



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE
PRUEBAS PARA UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTAN:

RODRIGO LUNA GARCÍA

MARIO ANTONIO VILLARREAL NOGUERA

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. BILLY ARTURO FLORES MEDERO NAVARRO



2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mi padre Mario H Villarreal Corrales, a mi madre María Isabel Noguera Farfán y a mi hermana por brindarme siempre su apoyo y darme su fortaleza ante cualquier obstáculo en la vida. Gracias por sus consejos y la gran sabiduría que lograron transmitirme.

A mi amigo Rodrigo Luna García, coautor de esta tesis, por la motivación, la amistad y el gran esfuerzo hecho para llegar hasta este punto.

A mi hermosa novia Fernanda Valdés por su apoyo y comprensión, por estar siempre a mi lado y creer en mí.

Un especial agradecimiento al Ing. Billy Flores por su incondicional apoyo y sus palabras de aliento y su contribución a mi formación profesional.

A mis amigos de la UNAM, por tantas horas de estudio, momentos compartidos y lo más importante, su amistad.

Mario

A Dios por permitirme una vida plena y llena de aprendizaje, con la fortaleza necesaria para sobrepasar los obstáculos más difíciles y dotarme con la compañía de mis seres queridos, que día con día elevan mi espíritu humano.

En especial a mi padre, Carlos Alberto Luna Pérez y a mi madre, Guadalupe Esther García Espinosa por ser un ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional en todo momento, y por los enormes sacrificios que con amor y desinteresadamente hicieron para poder llevar a cabo mi educación profesional.

A mis hermanos, Carlos y Lorena que constituyen los pilares de mi familia, por su apoyo y los sabios consejos que siempre están dispuestos a brindarme.

A Ariana Ruiz, por creer en mí y porque con paciencia y confianza me ha acompañado por momentos buenos y malos e iluminándome siempre con su cariño me alienta a continuar esforzándome.

A Jesús Navarro y Paola de La Vega, por entregarme su confianza y apoyo

A Billy Flores, por servir de guía y maestro en el desarrollo de este trabajo, y por la amistad que nos ha extendido

A los profesores de la FI, por el esfuerzo y empeño que imprimen en sus enseñanzas formando grandes ingenieros con valor humano

A mis amigos, por ser parte fundamental en mi vida, apoyarme y haberme acompañando en esta trayectoria con vivencias y experiencias que nunca olvidaré

A Mario Villarreal, que además de amigo incondicional, compartimos grandes experiencias y ha sido mi compañero en el transcurso de esta empresa, logrando que cada reto se convirtiera en hazaña, motivándome a continuar en todo momento y salir adelante con éxito en ésta; que sin dudas, es una de las mejores y más divertidas experiencias de mi vida

Rodrigo

Índice general

Introducción	I
Objetivo General	V
Objetivos Particulares	VII
Nomenclatura	IX
Antecedentes	XI
I. Banco de Pruebas	XI
II. Motor de Combustión Interna	XIII
II.1. Clasificación de los motores de combustión interna	XIII
III. ECU	XVI
III.1. Primeros indicios de las unidades de control	XVI
III.2. Sensores y actuadores de control	XIX
III.3. Elementos que integran la ECU	XXII
IV. Metodología de desarrollo del proyecto	XXIII
IV.1. Métodos estructurados	XXIV
IV.2. Fases de desarrollo	XXV
1. Planeación del proyecto	1
I. Evaluación y priorización de los proyectos	1
I.1. Segmentación del mercado	4
I.2. Trayectorias tecnológicas	9

I.3. Planeación de la plataforma del producto	11
II. Asignación de recursos	16
III. Enunciado Misión	21
IV. Reflexión sobre el proceso y los resultados	23
2. Identificación de las necesidades	25
I. Recopilación de información sin procesar	26
II. Interpretación de la información sin procesar	28
III. Jerarquización de las necesidades	29
3. Especificaciones del UMSU	33
I. Asignación de métricas a cada necesidad	34
II. Valores objetivo y marginalmente aceptables	36
III. Segmentación de las especificaciones	37
4. Generación y selección del concepto	39
I. Aclaración del problema y propuesta de soluciones	40
I.1. Conceptos del sistema mecánico	41
I.2. Árbol de soluciones	43
I.3. Conceptos del sistema eléctrico	45
I.4. Conceptos del sistema de control	46
II. Selección del concepto	51
5. Arquitectura del UMSU	61
I. Arquitectura del sistema mecánico	63
I.1. Generación del modelo mecánico	67
II. Arquitectura del sistema eléctrico	74
II.1. Generación del modelo eléctrico	76
III. Arquitectura del sistema de control	80
III.1. Generación del modelo de control	82
6. Prototipo y Pruebas	95

Conclusiones	103
Apéndices	113
Apéndice A	
Pronóstico de oportunidades	115
Apéndice B	
Obtención e interpretación de las necesidades	119
Apéndice C	
Características de las necesidades del mercado y especificaciones del UMSU	125
I. Jerarquías y prioridades de las necesidades	125
II. Métricas de las necesidades	131
III. Especificaciones del UMSU	138
IV. Matriz QFD	141
Apéndice D	
Árboles de posibles soluciones	147
V. Árboles de solución para el sistema de control	148
VI. Árboles de solución para el sistema eléctrico	149
VII. Árboles de solución para el sistema mecánico	150
VIII. Árboles de solución para el sistema de usuario	152
Apéndice E	
Bosquejos del sistema Mecánico	153
Apéndice F	
Planos de la estructura del UMSU	157
Apéndice G	
Diagramas de flujo de los módulos de control	179

Apéndice H	
Reporte de Abaqus	181

Introducción

A diario el mundo nos sorprende con descubrimientos asombrosos y hallazgos que maravillan a la humanidad, mientras los medios de comunicación acortan los vínculos entre las innovaciones tecnológicas y las personas, creando como consecuencia que la tecnología se desarrolle en un ambiente cada vez más asequible para las personas, obligando a las instituciones educativas a evaluar programas de estudio más ambiciosos para los alumnos relacionados con ingeniería. Las universidades hacen su papel al facilitar el aprendizaje y acercar a los estudiantes las herramientas para atacar problemas reales de índole ingenieril, utilizando las técnicas y el conocimiento adquirido previamente, generando así resultados válidos, no sólo de significado teórico sino prácticos. Es adecuado decir que en su mayoría los ingenieros profesionistas son ataviados por una realidad financiera que interfiere al momento de resolver los problemas y sesga las posibles soluciones.

Con una visión de desarrollo académico y alineados a las limitaciones que se sugieren al ser estudiante, el objetivo que presume esta tesis es el de aportar un ladrillo para construir un desarrollo universitario capaz de envolverse con el hábito de la tecnología y penetrar la barrera que separa el estudio de la tecnología de última generación con la capacidad del alumno para utilizarla. Como estudiantes, durante el recorrido por el camino del aprendizaje y el desarrollo como profesionistas se encuentran en la facultad obstáculos que impiden despejar ciertas incertidumbres por la misma imposibilidad de poner en práctica el conocimiento aprendido; de la gran cantidad de maquinaria con la que cuenta la universidad los estudiantes cuentan con acceso limitado a las herramientas, materiales e instrumentos tecnológicos. Cabe mencionar que no porque la universidad carezca de infraestructura tecnológica los

estudiantes se ven limitados al uso de ésta, por el contrario es tanta la cantidad de equipo en espera de ser implementado que difícilmente se puede describir un panorama donde en su totalidad los dispositivos y herramientas funcionen al mismo tiempo y además se cuente con la viabilidad de manutención bajo los costos que esto implica, sin mencionar y sumar la capacitación del personal para utilizarlo; acrecentando los costos de operación.

Dentro de los artículos donados a la facultad se encuentra un motor de combustión interna manufacturado por General Motors que lleva varios años nuevo y embalado. Como egresado de la carrera de Ing. Mecatrónica el alumno es capaz de generar una estrategia para que utilizando las diversas herramientas con las que ya cuenta la universidad y sin generar gastos significativos para la institución se haga funcionar dicho motor y además se acondicione el mismo para utilizarlo como herramienta didáctica, acercando a los alumnos de nuevas generaciones en el entendimiento por las máquinas modernas de combustión interna. Asimismo el gran reto para el Ingeniero mecatrónico es crear una amalgama entre las diferentes ramas de la ingeniería.

Utilizando las doctrinas de la ingeniería mecánica, electrónica y en sistemas en conjunto con las metodologías de diseño se desarrollará un planeamiento válido para establecer una propuesta de valor referente a la elaboración del diseño de una plataforma de pruebas para el motor. Misma propuesta que posteriormente se podrá utilizar para materializar y traer a la realidad dicha plataforma de pruebas. Involucrando los métodos de las ciencias mecánicas obtenidos en la carrera se efectuarán simulaciones de pruebas mecánicas sobre los diseños generados por computadora de la estructura que albergará el motor.

Los bancos de pruebas para motores utilizan unidades de control comerciales que están limitadas a las características que el fabricante ofrece en sus productos, donde no siempre es posible la modificación y adición de módulos que permitan el uso de sensores alternativos para controlar variables adicionales en el motor. Un ejemplo de ello, es la competencia internacional fórmula SAE, donde los motores utilizados son *tuneados* con unidades de control comerciales. Por esta razón, es necesario que en el diseño y simulación de una plataforma robusta de pruebas didácticas se haga

uso de una unidad de control electrónica con la máxima flexibilidad y modularidad posibles, la cual permita al alumno desarrollar pruebas de desempeño que le permitan adquirir habilidades y conocimiento en el área automotriz.

Aprovechando la disponibilidad del motor donado a la Facultad de Ingeniería, se realizará el diseño mecánico y teórico de dicha plataforma usando una metodología de diseño que permita la selección de la mejor opción en cuanto a requerimientos, materiales y costos. De forma análoga, se diseñará el sistema electrónico y el software para la plataforma de pruebas que permita la puesta en funcionamiento del motor en un estado equivalente al modo de prueba con el que cuentan las unidades de control electrónicas comerciales. Con el módulo de control CompactRIO se obtendrá la información de los sensores más elementales y se enviarán las señales de control a los actuadores. Dichas señales serán procesadas en el mismo módulo de control gracias al software previamente desarrollado en el ambiente de programación gráfico LabView.

Objetivo General

Desarrollar un banco de pruebas accesible, económico y robusto que permita al usuario interactuar con un motor de combustión interna para realizar pruebas didácticas y ensayos, a través de una unidad de control flexible y modular.

Objetivos Particulares

1. Diseñar el sistema electrónico que permita el arranque del motor bajo estándares de seguridad y confiabilidad.
2. Diseñar un sistema mecánico robusto que se adecue a los estándares didácticos y cumpla con medidas de seguridad adecuadas para su múltiple manipulación.
3. Diseñar un programa para la unidad de control que permita mantener al motor funcionando en un modo de prueba establecido.
4. Simulación e integración del sistema mecánico, electrónico y de control a través de paqueterías de software con el fin de probar su funcionamiento teórico.
5. Se investigará el estado del arte de los bancos de pruebas para motores que existen en el mercado y las unidades de control que utilizan.
6. Seguimiento de una metodología de diseño que permita la selección del mejor modelo en función de los requerimientos estipulados, y que también tenga en cuenta los costos y materiales más adecuados para su futura construcción.
7. Pruebas sobre el modelo físico para comprobación del funcionamiento de la integración de los sistemas.
8. Documentar los resultados obtenidos y sistematizar los procesos necesarios para su futura construcción.

Nomenclatura

Para efectos de referencia se agrega la tabla 1 con las nomenclaturas de los acrónimos utilizados en el presente trabajo

Acrónimos encontrados en el cuerpo del trabajo	
Acrónimo	Definición
AISI	Instituto americano del hierro y el acero
BCM	Módulo de control de frenado
CAD	Diseño asistido por computadora
CAE	Ingeniería asistida por computadora
CAN	Bus de red de área controlada
CCM	Módulo de control central
CKP24x	Sensor de posición de cigüeñal de 24 pasos
CKP7x	Sensor de posición de cigüeñal de 7 pasos
CMP	Sensor de posición de árbol de levas
CRIO	Unidad de procesamiento en tiempo real NICompact Rio
DIS	Sistema de inyección directa
ECM	Módulo de control electrónico
ECU	Unidad de control electrónica
EST	Tiempo electrónico de chispa
FPGA	Puente de arreglos de campo programable
GAL	Arreglo lógico programable
GM	General Motors
GUI	Interfaz gráfica de usuario
IAC	Válvula de control de admisión de aire
IAT	Sensor de temperatura
ICM	Módulo de control de ignición
MAP	Sensor de presión absoluta del colector
MEF	Método de elemento finito
MOSFET	Transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor
OEM	Fabricantes de equipo original
PCM	Módulo de control de tren motriz
PIC	Controlador de interfaz periférico
PLC	Controlador lógico programable
PMI	Punto muerto inferior
PMS	Punto muerto superior
QFD	Despliegue de la función de calidad
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices
SCM	Módulo de control de la suspensión
TCM	Módulo de control de transmisión
TPS	Sensor de posición de obturación
UMSU	Unidad de soporte universal para motores

Tabla 1: Referencia de los acrónimos con sus definiciones.

Antecedentes

I. Banco de Pruebas

Un banco de pruebas es una plataforma de experimentación para proyectos. Dicha plataforma permite pruebas de manera transparente, rigurosa e iterativa para medir desempeño, comprobar teorías científicas o simplemente probar nuevos productos antes de ser ensamblados. Se usan para probar motores antes de su instalación final en los vehículos y todo prototipo de un nuevo proyecto se somete a una larga serie de pruebas experimentales y prototipado para garantizar su desempeño y fiabilidad.



Figura 1: Banco de pruebas con los respectivos sistemas para funcionamiento del motor (a) [24]. Consola de instrumentos de medición (b). [19]

La operación de un banco de pruebas debe ser realizada por personal experimentado con las herramientas y equipo de seguridad adecuados. También existen bancos de pruebas para realizar ensayos de producción a motores ya fabricados en

serie y sirven para controlar que las características del fabricante son efectivamente aquéllas del prototipo, y al mismo tiempo efectuar un periodo de rodaje para el asentamiento del motor. Un banco de pruebas puede estar cimentado al piso para casos de motores muy grandes o puede tener algún sistema de locomoción para transportarlo, brindando una cómoda movilidad al sistema. Un banco de pruebas puede componerse de los siguientes elementos:

1. Freno dinamométrico que absorba la potencia del motor para simular cargas y poder medir el par motor
2. Estructura adecuada para montar y fijar el motor. La posición debe ser tal que permita alinear un dinamómetro para hacer pruebas de carga.
3. Soportes ajustables que permitan fijar el motor, así como regular la altura para la alineación con el freno dinamométrico.
4. Acople de una transmisión con una cierta elasticidad que permite absorber vibraciones y desalineaciones.
5. Sistema de alimentación de combustible.
6. Sistema de refrigeración: Si el motor es refrigerado por agua, se mantiene la bomba de agua del propio motor. Ésta impulsa el agua a través de un intercambiador de calor que tiene un ventilador el cual es activado cuando un sensor de temperatura indica un sobrecalentamiento del motor.
7. Sistema de refrigeración del aceite: debido a que el motor no está instalado en un automóvil y no hay una corriente de aire, en ocasiones se necesita un sistema con un intercambiador de calor que permita el enfriamiento del aceite que fluye por el motor.
8. Sistema de evacuación de los gases de escape.
9. Unidad de control electrónica para controlar el desempeño del motor.
10. Tablero de control para medir revoluciones, temperatura y velocidad.

11. Arnés eléctrico que permita interconectar sensores y actuadores, así como relevadores para proteger al sistema de posibles picos de voltaje.

Las principales pruebas experimentales que se realizan en un banco de pruebas sirven para determinar los valores de: par motor, potencia, presión efectiva media, potencia absorbida por rozamiento, consumo de combustible y rendimiento [21].

II. Motor de Combustión Interna

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química en energía mecánica por medio de la combustión de una mezcla de oxígeno y un combustible en una cámara interna dentro del motor. Fue inventado por Nikolaus A. Otto, quien en 1876, en Alemania, construyó una exitosa máquina de cuatro tiempos utilizando el ciclo propuesto por Frenchman Beaud de Rochas en 1862 [7].

El motor de combustión ha reemplazado con creces al motor de vapor y en la actualidad, solamente la turbina de vapor es comparable con él, por lo que respecta a la cantidad de energía producida. Actualmente, la construcción de motores de combustión para automóviles, lanchas, aeroplanos y trenes, lo mismo que para pequeñas plantas de energía, constituye una de las más grandes industrias en el mundo. [23]

II.1. Clasificación de los motores de combustión interna

En vista de que la velocidad y potencia de un motor están limitadas por las fuerzas de inercia originadas al acelerar y desacelerar algunas de sus partes, es conveniente dividir el motor en cierto número de cilindros individuales. Mediante este recurso se reducen las fuerzas de inercia por cilindro; incluso las fuerzas en uno de ellos pueden contrarrestarse o “balancearse”, con un acomodo conveniente de los otros. [23]

En la figura 2 se muestran los diferentes tipos de arreglos de motores. Dependiendo del arreglo, se usan en diferentes vehículos como motocicletas, automóviles, aviones, trenes, entre otros. El motor en línea es el diseño usual para aplicaciones tanto estacionarias como de transportación, porque ofrece la solución más simple de construcción y mantenimiento. Un motor con menor longitud que el del tipo en línea

y de la misma potencia, es el motor en V, que consiste en dos bancadas de cilindros en línea, colocadas una con respecto a la otra un cierto ángulo (generalmente 90°) para formar la letra V. [23]

Todos los diseños anteriores son enfriados por aire o por agua [Fig. 3]. El enfriamiento por agua es el más común, pero cuando se desea simplicidad o una reducción de peso (como en motores de aviación), lo usual es el enfriamiento por aire.



Figura 2: En la izquierda se muestra un bloque de motor con disposición en V y en la derecha un bloque en línea[14].

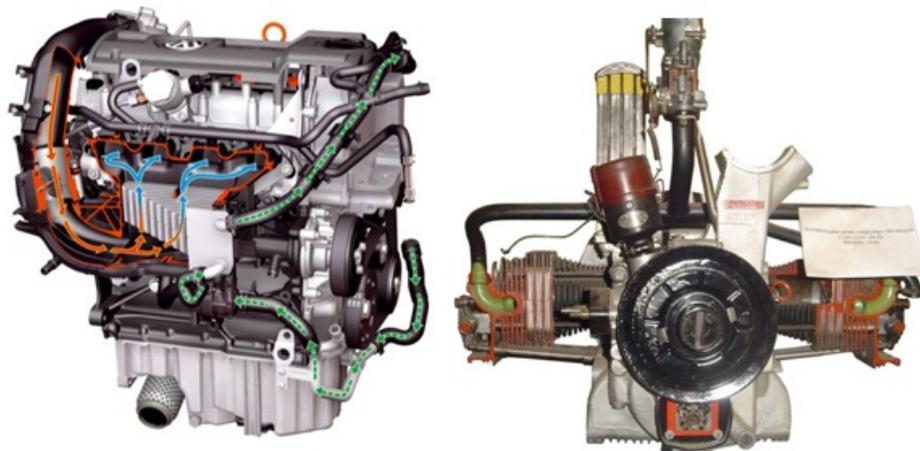


Figura 3: En la izquierda se muestra un motor enfriado por agua y en la derecha uno por aire[9].

Los motores también se pueden clasificar por la posición de las válvulas. El

diseño más común es el del motor con válvulas en la parte superior que se llama motor de cabeza en I [23].

También existen los motores con válvulas debajo de la cabeza o en L y motores con cabeza en F, que resulta de una combinación de los primeros dos. Asimismo los motores se pueden clasificar dependiendo el ciclo de trabajo que usan en motores de 4 tiempos y motores de 2 tiempos. En la figura 4 se muestra el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos

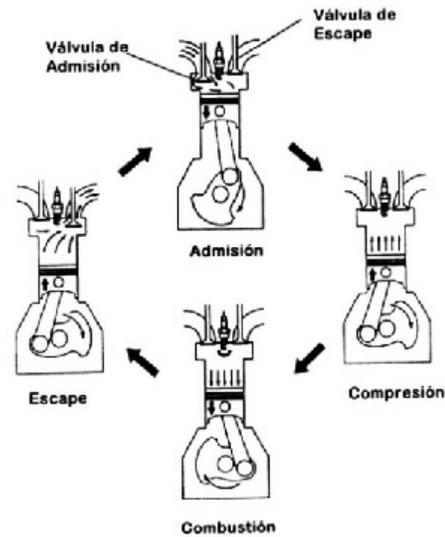


Figura 4: Ciclo de cuatro tiempos propuesto por Otto para un motor de combustión interna [7].

La mayoría de los motores utilizan el principio del émbolo recíprocante, aunque también existen los motores rotatorios. El funcionamiento de un motor de combustión interna de 4 tiempos puede ser dividido en 4 etapas para motores recíprocantes:

Tiempo de admisión. El pistón moviéndose del PMS al PMI crea una presión menor a la presión atmosférica, creando una diferencia de presiones que permite la entrada de la mezcla de aire combustible a través de la válvula de admisión.

Tiempo de compresión. El pistón, ahora moviéndose hacia arriba y con ambas válvulas cerradas comprime la mezcla de aire-combustible a una décima parte

del volumen inicial y aumenta la temperatura y la presión en la cámara de combustión hasta lograr las condiciones adecuadas para ser encendida por la chispa de la bujía, lo cual aumenta la presión en el cilindro.

Tiempo de combustión. El combustible se inflama y empuja el pistón del PMS al PMI transmitiendo energía mecánica en forma de movimiento rotativo al cigüeñal. Cuando el pistón se acerca al PMI se abre la válvula de escape para iniciar la expulsión de los gases.

Tiempo de escape. La inercia del cigüeñal causa que el pistón se mueva hacia arriba con los gases de la combustión en forma de dióxido de carbono y agua; y los expulse por la válvula de escape debido a la diferencia de presión entre el cilindro y la atmósfera. La válvula de escape se cierra y comienza de nuevo el proceso.

III. ECU

Dentro de la ingeniería automotriz se utiliza el término unidad de control electrónica para referirse a cualquier sistema embebido utilizado para controlar uno o más sensores dentro de un vehículo automotor.

III.1. Primeros indicios de las unidades de control

Las mayores demandas de vehículos para grandes concentraciones en condiciones de tráfico fueron los detonantes por la transformación del vehículo automotor en un bien de consumo, siempre listo y funcionando, alrededor de la década de los 60s. Al mismo tiempo la motorización en masa demandaba cada vez más automóviles responsables con el medio ambiente para responder a un estilo de vida de por sí ya amenazado por los bienes de consumo. Las compañías estadounidenses se colocaron al frente en la modernización de un transporte más cómodo y más apropiado para las personas. En paralelo la industria automotriz estadounidense introdujo como innovación la marcha eléctrica que eliminó por completo el encendido manual por manivela. Al no

encontrar razón, por la cual, el conductor tuviera que esforzarse mientras controlaba la dirección, realizaba los cambios, o embragaba la marcha, introdujo en los automóviles dirección asistida y transmisiones automáticas. Sin embargo en el transcurso del continuo desarrollo de aplicaciones, particularmente de requerimientos externos como las emisiones, pronto se descubrió que los sistemas mecánicos, hidráulicos e incluso eléctricos habían llegado a sus límites, dicho de otra forma las regulaciones cada vez más exigentes ya no podrían seguirse cumpliendo sin asistencia de sistemas adicionales. Los ingenieros por años asociados y entrenados en el campo de la ingeniería mecánica, no tuvieron más opción que adoptar y acoplar las soluciones electrónicas que la ciencia encaminaba con furor. Como fruto de estos nuevos cambios se vio el remplazo de la bobina tradicional de ignición a la bobina de ignición transistorizada así como la ignición por descarga de capacitor de alto voltaje. Los sistemas electrónicos de ignición proveían de una chispa más potente, con resultados satisfactorios en las emisiones de escape, economía de combustible, potencia de salida, encendido en frío, y el comportamiento de calentamiento del motor junto con la posibilidad de tener mayores velocidades del motor.

En la década de los 70 las regulaciones estadounidenses demandaban que los sistemas de ignición funcionaran sin necesidad de mantenimiento por al menos 80,000 Km. Esta ley obligó a las principales compañías de automóviles a introducir los sistemas electrónicos de ignición en sus modelos. [12] A finales de la década de los años 70s las leyes federales de emisiones exigieron a los fabricantes de automóviles desarrollar sistemas que controlaran las emisiones de gases tóxicos al ambiente, entre ellos los monóxidos de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Reduciendo así considerablemente los gramos de contaminantes por vehículo.[2] El carburador se encontraba en su máxima expresión tecnológica y la gran cantidad de elementos superpuestos al carburador elemental, como el surtidor de ralentí o el surtidor de medias marchas, precisaban una curva de mezcla enriquecida con combustible y aire muy superior al carburador elemental y sobre todo muy cercana a la mezcla estequiométrica, además de contar con la posibilidad de ajustarse en caso de necesitar más potencia o variar la mezcla manualmente.[11] No obstante lo complejo y funcional que llegó a ser el carburador a finales de 1970 los autos de precio medio-alto comen-

zaron a emplear dos sistemas controlados electrónicamente, el sistema de ignición y el sistema de inyección de combustible. Cuando estos dos sistemas se combinan el resultado es un control de los procesos del motor coordinado, también conocido como administración electrónica del motor. Dichos sistemas son más flexibles que los sistemas individuales y pueden ser escalables al incorporar subsistemas adicionales como sensores de oxígeno de lazo cerrado, control de ralenti, o el control y sentido de detonación. En 1979, el pionero en sistemas electrónicos automotrices Bosch introdujo un sistema de administración del motor bajo el nombre de “Motronic”. Por primera vez en la historia de la industria automotriz un microprocesador era instalado como parte integral del vehículo automotor; la electrónica digital había remplazado la tecnología analógica. Dentro de las clasificaciones de unidades de control electrónicas se pueden encontrar: el módulo de control electrónico (ECM), el módulo de control del tren motriz (PCM), el módulo de control de la transmisión (TCM), el módulo de control de freno (BCM), el módulo de control central (CCM), el módulo de control de la suspensión (SCM). A la integración de estas unidades, comúnmente se le refiere como la computadora del automóvil; en sentido estricto no existe una sino muchas computadoras trabajando en coordinación y aumentando en número dependiendo de la complejidad y modernidad del automóvil. Algunos modelos de automóvil cuentan hasta con 80 unidades de control electrónicas. El software de las distintas ECUs continúa creciendo en extensión, complejidad y sofisticación, haciendo propio de la marca el tipo de código y algoritmos para resolver las distintas situaciones cuando se controlan los sistemas electrónicos. Por dicha razón las ECUs se han vuelto clave en el diseño del automóvil, y ha llegado a tan gran escala su sofisticación que las compañías automotrices protegen el código de programación y limitan el acceso a las ECUs así como su posible modificación, en caso de que la ECU pueda ser *tunneada*. La función de la computadora consiste en leer las señales generadas en los sensores por las condiciones del sistema, procesarlas y generar una reacción eléctrica para controlar los actuadores.

III.2. Sensores y actuadores de control

Los sensores encontrados en un motor de combustión interna permiten medir las condiciones de funcionamiento durante el ciclo de motor. Dichos sensores varían dependiendo del modelo de motor, sin embargo aquellos que siempre están presentes son los siguientes [10]:

Crank Position Sensor. Provee al módulo de control de Ignición (ICM) y al módulo de control del tren motriz (PCM) con una señal de posición del cigüeñal. El ICM usa la señal para determinar la secuencia de chispa (orden de disparo) para cada cilindro. El PCM usa la señal para controlar de manera precisa el tiempo de ignición y calcular las RPM. Esta señal también es usada por el sistema de diagnóstico de errores a bordo para detectar un falla del disparo de encendido. [10]: Dicha señal es un pulso de corriente alterna. Cada vez que una ranura pasa por el sensor inductivo. Dicha señal es procesada por el ICM y su salida es una señal digital de pulsos cuadrados.

CMP. El CMP o camshaft position sensor opera junto con el CKP7X para determinar el tiempo exacto de inyección en cada cilindro. Dicho sensor funciona como efecto Hall y es disparado por un imán en el árbol de levas. Para que el motor arranque la señal del CMP debe sincronizarse con la señal del CKP procesada por el ICM. Se graficaron ambas señales para averiguar cada cuántos pulsos se sincroniza ambos sensores.

Sensor de temperatura del refrigerante. Al igual que el IAT, este sensor se ve afectado por un cambio de temperatura en el fluido refrigerante. A mayor temperatura habrá menos resistencia y viceversa. El valor de la señal llega al PCM y determina si prender el ventilador para reducir la temperatura del líquido refrigerante del motor.

Manifold Absolute Pressure. El MAP monitorea los cambios de presión en el múltiple de admisión que resultan de un cambio en la carga y velocidad del motor; y convierte esta información en una entrada de voltaje al PCM. El PCM

recibe información como una señal de voltaje que varía dependiendo de si el papalote está totalmente cerrado, o totalmente abierto. Dicha señal le sirve al PCM para controlar la entrega de combustible y el tiempo de ignición.

TPS (Throttle Position Sensor). Mide unas de las variables más críticas en cualquier unidad de control. Es un potenciómetro rotatorio que varía su resistencia alrededor de un disco. El TPS le indica a la computadora exactamente qué tan abierto está el papalote en el cuerpo de aceleración, de manera que se pueda determinar si el conductor está acelerando, desacelerando o en estado ralenti. Generalmente la salida se lee en una escala de 0 a 5 volts, donde el rango de 0.5 a 1.0 volt indica papalote cerrado, y de 4.5 a 5 volts indica tapa totalmente abierta (WOT) [3].

Intake Air Temperature (IAT). El IAT es un termistor que varía el valor de su resistencia de acuerdo a un cambio de temperatura. El cambio en la resistencia afecta directamente al valor del voltaje a la salida. A mayor temperatura menor resistencia y a menor temperatura mayor resistencia.

Mass Airflow (MAF). Este sensor se encuentra antes del papalote y mide la cantidad de aire que pasa a través de él y entra al motor. El PCM usa esta información para el control de la inyección de combustible. Mientras más aire entra al motor, más combustible se necesitará.

Sensor de Oxígeno. Es un dispositivo dentro del cual el aire de los gases de escape reacciona con ciertos elementos y produce una señal de voltaje que varía de 0.1 Volts (mucho oxígeno, mezcla pobre) a 0.9 Volts (mucho combustible, mezcla rica). Dicha señal provee al PCM con una señal de realimentación continua que le indica la cantidad de oxígeno no se está quemado en el múltiple de escape y de esta manera, poder determinar el ancho de pulso para el inyector y poder mantener la relación aire combustible cercano al valor estequiométrico, que es de 14.7 partes de aire por una parte de combustible. Siendo la relación ideal para tener las mínimas emisiones posibles.

Sensor de golpeteo. Este dispositivo detecta vibraciones anormales en el motor.

El sistema de control de golpeteo está diseñado para reducir el golpeteo de la chispa durante periodos de detonaciones violentas. Esto permite al motor usar el máximo avance de chispa para mejorar la manejabilidad. La salida producida es una señal de corriente alterna leída por el PCM que retarda o adelanta la chispa dependiendo la severidad del golpeteo.

Un actuador es un dispositivo que realiza un movimiento lineal o, angular a partir de una señal eléctrica proveniente de un controlador. Por lo general un actuador consume más corriente de la que una señal de activación puede mandar directamente de un controlador, por lo tanto es necesario tener una etapa de potencia que permita suministrar suficiente energía al motor o actuador lineal. [10]

Bomba de Gasolina. El motor consta de un riel de inyección que recibe la gasolina y la distribuye a los inyectores. Para que la inyección se lleve a cabo de manera eficiente, la presión en los inyectores debe ser mantenida a un valor determinado por medio de una bomba y un regulador. Al ser un riel de inyección, no toda la gasolina inyectada por la bomba llega a utilizarse por lo que esa gasolina sobrante debe regresar por el riel de retorno hacia el regulador de combustible. Posteriormente la gasolina sobrante regresa al tanque y se almacena para ser utilizada en otro ciclo de inyección.

Inyectores. Los inyectores son los encargados de suministrar directamente la gasolina necesaria a cada cilindro. Son válvulas electrónicamente activadas que se abren cuando se aplica una corriente a través de sus terminales para dejar pasar una cantidad de combustible dentro de cada cilindro. El combustible debe salir de los inyectores a una presión suficientemente alta para poder atomizar la gasolina en diminutas gotas, ya que mientras más pequeña sea la gota, es más fácil de quemar.

Bobinas de las bujías (ICM). Las bujías son sólo la parte final de un complejo sistema que se encarga de producir la chispa que enciende la mezcla dentro de la cámara de combustión. La bobina de ignición es un tipo de transformador

eléctrico especializado. Un transformador usa dos bobinas de alambre para elevar un voltaje.

Ventilador. Elemento del sistema de enfriamiento que se activa cuando las condiciones de temperatura del motor sobrepasan el umbral determinado por la unidad de control. Existen, tanto ventiladores activados por un control ON-OFF, como ventiladores que regulan su velocidad en función de la temperatura del motor.

III.3. Elementos que integran la ECU

Convertidor Analógico-Digital. Lee las señales generadas por los sensores en el carro, por ejemplo el sensor de oxígeno. Como el procesador trabaja únicamente con unidades digitales, el convertidor convierte la señal de los sensores a un número binario usualmente de 10-bits.

Salidas digitales de alto nivel. En muchos automóviles modernos la ECU se encarga de disparar las bujías, abre y cierra las válvulas, enciende o apaga los inyectores de combustible así como el ventilador de enfriamiento. Todas estas acciones requieren de estímulos binarios, es decir 1 o 0 (encendido o apagado); no existen valores intermedios. Por ejemplo, la salida que se necesita para controlar el ventilador es de 12 V y 5 A cuando está encendido y 0V cuando está apagado. La salida en sí es semejante a un relevador. La pequeña cantidad de energía que entrega el procesador es suficiente para energizar el transistor en la salida digital, el cual a su vez energiza el relevador del ventilador y este último permite el flujo de corriente hacia el ventilador.

Convertidor Digital-Analógico. Así como las salidas digitales son fundamentales para algunos elementos del sistema, también se requiere controlar algunos otros por medio de señales analógicas, ya que el procesador de la ECU es un dispositivo digital en sí, se necesitan convertir las señales digitales que el procesador genera en voltajes analógicos.

Acondicionador de señales. En algunas ocasiones las entradas o salidas necesitan ser acondicionadas antes de ser leídas. Por ejemplo, el convertidor analógico-digital que lee la señal del sensor de oxígeno debe estar ajustado para leer voltajes de 0 – 5 V, pero en realidad los voltajes del sensor de oxígeno varían entre 0 – 11 V. La tarea del circuito acondicionador de señales es ajustar el nivel de las señales, ya sea de entrada o salida, permitiendo así al convertidor analógico-digital o al convertidor digital-analógico una precisión mayor al interpretar las señales.

Circuitos integrados de comunicación. Estos circuitos implementan los estándares de comunicación que son utilizados en los automóviles. En el segmento automotriz existen gran cantidad de estándares pero el que está empezando a dominar en la comunicación inter-automóvil es el CAN (controller-area networking). Este estándar concebido por Robert Bosch GmbH en 1987 permite velocidades de transmisión de hasta 1Mbits/s a distancias menores a 40m.

IV. Metodología de desarrollo del proyecto

El éxito de una compañía al realizar un producto depende en muchas ocasiones en la habilidad de identificar las necesidades de los clientes y responder ágilmente creando productos que satisfagan dichas necesidades y sobre todo con un costo bajo de producción.

Dentro de las características de un desarrollo de producto exitoso que interesa a los involucrados en el proyecto, se encuentra la capacidad del mismo de producirse y venderse rentablemente. Si bien es complicado poder evaluar la rentabilidad de un producto, existen cinco dimensiones específicas y relacionadas con la rentabilidad para poder medir el desempeño del esfuerzo en el desarrollo del producto: la calidad del producto es la primera en ser mencionada y se refleja en la participación en el mercado así como en el precio que el mismo está dispuesto a pagar por el producto; el costo del producto depende estrictamente del costo de producción y determina cuanta ganancia puede acumular una compañía por una venta de un volumen par-

ticular; el tiempo de desarrollo determina la receptividad de la compañía frente a tecnologías y fuerzas competitivas, así como la rapidez con la que la compañía recibe las ganancias del esfuerzo del equipo; el costo de desarrollo está relacionado con el costo del producto, sin embargo es una fracción importante de la inversión requerida para alcanzar los objetivos de rentabilidad; y por último la capacidad de desarrollo, que evalúa la capacidad de una compañía para realizar desarrollos de producto más efectiva y económicamente en el futuro.

Si bien para el proyecto en cuestión la rentabilidad del proyecto está condicionada a las normas internas del reglamento comercial de la universidad, sí es importante desarrollar un producto pensando en su rentabilidad pues permitirá, que aunque su venta a un mercado no se lleve a cabo, se pueda convencer al área financiera sobre invertir en la reproducción de dicho producto.

IV.1. Métodos estructurados

La ventaja de usar métodos estructurados, es que le comunican al equipo de desarrollo una expectativa clara y explícita sobre los resultados esperados en cada una de las fases del proyecto, y evita que cada miembro del equipo realice el diseño con base en su propio criterio. De esta forma el equipo puede avanzar paso a paso y ordenadamente hasta ir cumpliendo todas y cada una de las metas a lo largo del desarrollo del proyecto.

Otra situación por la que conviene alinearse a métodos estructurados es porque el equipo de desarrollo tiene una lista de actividades que le sirve para llevar un control, y asegura que ninguna actividad importante o sustancial dentro del proceso de desarrollo haya sido olvidada o pasada por alto.

Los métodos estructurados orientan al equipo a ir generando documentación necesaria desde la primera fase de desarrollo y diseño del producto, misma documentación que será indispensable consolidar al final del proyecto y que por la temprana generación de la misma, el equipo tendrá que invertir muy poco tiempo en recopilarla y formatear.

IV.2. Fases de desarrollo

El desarrollo del producto se puede fraccionar en seis fases complementarias e iterativas que se constituyen desde la planeación del producto hasta la manufactura del mismo. No obstante los objetivos del presente proyecto se concluyen con su diseño a nivel de sistema, pruebas y prototipo del mismo, y con la consolidación de las bases para llevar a cabo una producción e implementación del mismo.



Figura 5: Proceso del desarrollo del producto dividido en las seis fases que lo comprenden.
[26]

Para poder realizar el camino a través de todas las fases satisfactoriamente, el equipo de desarrollo debe cumplir con las siguientes actividades consecutivas, que si bien están condicionadas a las actividades anteriores, se reitera en ellas la característica de ser iterativas y pueden ir modificándose mientras avanza el proyecto.

Las actividades que el equipo de desarrollo emprenderá más adelante durante el proceso del proyecto, consisten en: la planeación del proyecto, presenta un método para decidir qué proyecto, de acuerdo a las facultades del equipo y orientación del mercado, se debe desarrollar; la identificación de las necesidades permitirá interactuar con muestras aleatorias del mercado para conocer sus opiniones y expectativas sobre el proyecto decidido; las especificaciones del producto permitirán al equipo traducir cada una de las necesidades que el mercado expresó en especificaciones y métricas para el producto en cuestión; la generación y selección del concepto proveerán al equipo con la habilidad de reconocer dentro de un universo de posibles respuestas a las soluciones de las problemáticas, las que mejor se adecúen para entregar una satisfacción a las necesidades del mercado; la arquitectura del producto le mostrará al equipo los detalles a considerar en el diseño del producto para que éste se desarrolle de la forma más conveniente posible y sin la necesidad de perder recursos en la iteración de varios diseños y prototipos; y por último la generación de un prototipo que permita al equipo llevar a cabo una evaluación de las prácticas utilizadas durante el desarrollo, así como verificar el funcionamiento del mismo.

Capítulo 1

Planeación del proyecto

Durante el proceso de diseño del producto se proponen varias etapas para maximizar los tiempos y los recursos. Así como se asigna un periodo de tiempo para el desarrollo y la investigación del producto, también se debe incursionar en la pre-planeación y planeación del mismo, antes de aprobarlo formalmente, de asignarle recursos sustanciales y sobretodo antes de empezar el proceso de desarrollo.

En la planeación del producto se lleva a cabo un análisis sistemático de distintos proyectos con base en sus oportunidades, análisis y tamaño de mercado y viabilidad de recursos para la correcta inserción del producto al mercado.

I. Evaluación y priorización de los proyectos

Se realiza una lluvia de ideas generales para generar un embudo de oportunidades saludable y así poder evaluar la viabilidad de cada una de las oportunidades y su posible competencia dentro de un mercado. Complementando al embudo de oportunidades se implementa un método de pronóstico de oportunidades alimentado con las oportunidades que se consideraron viables después de un análisis simple de oportunidad-competencia.

Una vez descartados los proyectos que no cuentan con la suficiente empatía por parte del equipo de desarrollo, o que se consideraron exentos de argumentos de com-

petencia, se acorta el abanico de oportunidades a un número razonablemente menor. Teniendo como resultado una lista de proyectos con gran oportunidad de competencia, mismos proyectos que después de un análisis detallado se irán excluyendo hasta obtener un proyecto acorde a los recursos del equipo, de la institución inversionista y sobretodo acorde a un mercado de competencia que se pueda desarrollar hasta su inserción al mercado.

A continuación se enuncian los proyectos más viables, que al ser filtrados por el embudo de oportunidades, se identificaron como oportunidades de competencia y se describe también en un breve enunciado el objetivo a cumplir por parte del equipo de desarrollo con cada uno de los siguientes proyectos:

Sistema inteligente de estacionamiento *autoasistido*. Implementar un sistema automático para la asistencia en la maniobra de estacionado de un vehículo comercial, el sistema es capaz de realizar las maniobras de forma segura y confiable para estacionar el vehículo dentro de un espacio adecuado, ya sea en estacionamiento en serie o en paralelo.

Dispositivo de separación y destrucción de botellas de vidrio. Dispositivo que recibe botellas de varios materiales y las segmenta. En México es importante llevar a cabo un control de las botellas de bebidas alcohólicas para que no se reutilicen con líquidos adulterados o de procedencia ilícita y se vendan nuevamente en bares y discotecas como botellas nuevas. A su vez, el vidrio es altamente reciclable.

Sistema Eléctrico/Electrónico de automóvil de competencia SAE. La competencia Fórmula SAE es un evento anual donde se requiere diseñar e implementar tecnologías de última generación para poner a prueba a estudiantes de distintas instituciones educativas a nivel mundial en el deporte automotor. La Universidad Nacional Autónoma de México ha participado por varios años en esta competencia y se han detectado áreas de oportunidad en el sistema electrónico de los automóviles. Se pretende optimizar este sistema, para reducir nodos de conexiones y puntos de fallas, optimizar comunicaciones entre los

sistemas, así como optimizar también la relación de instrucciones en la unidad de control del vehículo.

Robot de defensa no letal con detectores de movimiento. Robot de detección de intrusos altamente confiable que permita proteger la vida o los activos de una persona o compañía al defenderlos con el uso de armas no letales, neutralizando al sospechoso e inmovilizándolo, así como alertando a los afectados y a las autoridades de una intrusión no autorizada.

Cama ortopédica inteligente. Cama ergonómica e inteligente diseñada para adaptarse automáticamente a las distintas posturas de una persona mientras está en el lapso de sueño, evitando así problemas ortopédicos comunes y optimizando el tiempo de descanso de las personas. Permitiendo que la cama se ajuste a la postura más adecuada para personas con problemas de columna, ortopédicos y lesionados.

Monitoreo para conductores en situaciones de somnolencia o peligro. Sistema que permite monitorear las señales nerviosas de un conductor para validar en todo momento que éste se encuentre en un estado de vigilia y concentrado al conducir, evitando también que éste continúe conduciendo si se encuentra cansado. También permite comunicarse en tiempo real con una central de emergencia si considera que las señales nerviosas emitidas por el conductor son de alerta por tratarse de una situación de peligro, como robos, asaltos, secuestros y accidentes.

Plataforma de control para un motor de combustión interna. Unidad de control electrónica programada y desarrollada en laboratorio para implementación en cualquier motor de combustión interna e inyección directa, permite configurarla para sincronizar tiempos de inyección y combustión, así como ser un sistema escalable que permite acondicionar distintos sensores adicionales a los de fábrica para hacer pruebas dinámicas y estáticas, desarrollar mejoras a un motor de combustión interna con control electrónico.

Control de un robot bípedo para aplicaciones industriales. Robot que permite servir como herramienta auxiliar a personas con escaso uso de sus extremidades para ejecutar tareas complicadas y demandantes, así como tareas que requieren el uso de fuerza sobrehumana y velocidad al mismo tiempo.

A continuación con la ayuda del pronóstico de oportunidades se evalúan detalladamente los proyectos mencionados y tomando como diferenciadores el entorno de desarrollo, tamaño de mercado y recursos alcanzables para su desarrollo, se lleva a cabo una calificación de las distintas oportunidades siguiendo los aspectos clave para la estrategia de competencia que se está persiguiendo [Ver Apéndice A].

Después de analizar el liderazgo con el que se cuenta en el rubro tecnológico, el liderazgo en la producción, tamaño de mercado y la posibilidad de desarrollar el producto en constante comunicación con el usuario final, se determina que la Plataforma de control para un motor de combustión interno muestra ventajas de competencia superiores a los otros proyectos, sumado a lo anterior requiere de un menor tiempo de desarrollo y montos más bajos de inversión para la investigación de tecnologías; aspectos que se detallarán con más profundidad durante el proceso de diseño y desarrollo.

I.1. Segmentación del mercado

Ya establecido el criterio de selección del proyecto a realizar, se clasifica el mercado para adoptar una postura correcta sobre el reconocimiento del usuario final, cliente, inversionista y partes involucradas en el desarrollo del sistema; factores que serán claves para la elaboración de la declaración de la misión y obtener una herramienta clave con el propósito de atacar el mercado de forma eficaz para convertir el proyecto en un éxito.

Realizando una investigación de mercado se determina que el proyecto debería ser introducido dentro de las instituciones de educación superior, así como de los laboratorios de investigación y desarrollo, tanto de universidades como de la industria. Al ser un proyecto piloto, para este ejercicio se definieron la población de la DIMEI y una porción apenas significativa de fabricantes como el mercado objetivo.

Tamaño de la población estudiantil	
Profesores, académicos y ayudantes	407
Estudiantes ing. Mecatrónica	632
Estudiantes ing. Mecánica	1092
Estudiantes ing. Industrial	917
Total	3048

Tabla 1.1: Población estudiantil de la DIMEI al año 2010. [3]

Con ayuda de las fuentes electrónicas se estimaron, la población estudiantil y los profesores y académicos de la DIMEI [Tabla 1.1]. Los académicos y ayudantes se colocaron bajo el mismo rubro de profesores para poder generar una gráfica de pastel con el tamaño de cada clasificación. El segmento de fabricantes se calculó asumiendo su participación hacia una pequeña porción del mercado.

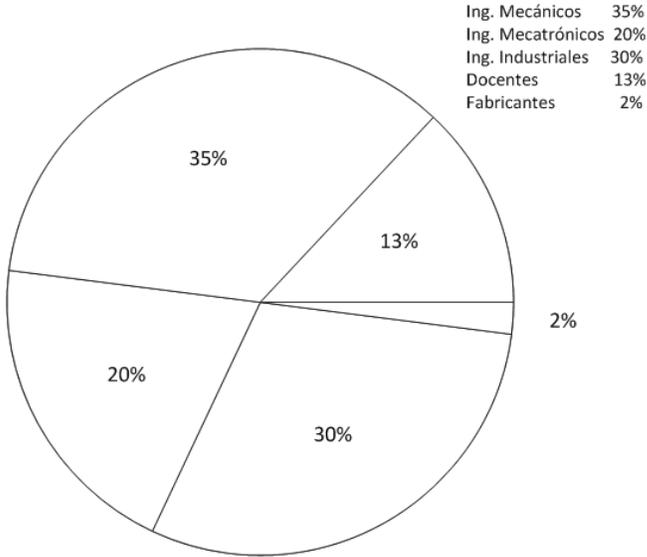


Figura 1.1: Población académica y una estimación de fabricantes.

Una vez definido y comprendido el tamaño total del mercado, expresado en sus proporciones mediante una gráfica de pastel como se muestra en la figura 1.1, se realiza la segmentación de mercado donde de forma visual se integra cada clasificación en uno de los cuadrantes que conforman el perfil del mercado objetivo: Investigación

y desarrollo de aplicaciones de control, investigación y desarrollo de aplicaciones automotrices, estudiante de primer ingreso y mecánico automotriz. Dentro de los cuadrantes se ubica todo el mercado segmentado por ramas de las tres ingenierías de la DIMEI: Ingeniería industrial, Ingeniería mecatrónica e Ingeniería Mecánica.

Como se puede ver en la figura 1.2, las directrices que indican en qué cuadrante se encuentran cada uno de los segmentos del mercado están definidas por el dominio en el conocimiento de microcontroladores y el dominio en el conocimiento de mecánica automotriz. Se presume que todos los estudiantes de primer ingreso tienen el mismo conocimiento, ya sea en mecánica automotriz como en aplicaciones con microcontroladores. Sin embargo, conforme se va profundizando en el plan de estudios de cada carrera el alumno se diversifica y su formación se va orientando hacia la investigación y desarrollo de aplicaciones de control, para los estudiantes de mecatrónica, o hacia una formación de mecánico automotriz para los ingenieros mecánicos. La mayor parte de los estudiantes de ingeniería industrial se desarrollan en sectores de la industria como planeación, procesos y mejora continua. También se puede observar que los docentes se colocan en las áreas que imparten respectivamente, pero con mayores conocimientos que el alumno en la materia. Lo que interesa al equipo de desarrollo, es que dentro de cada una de las carreras existe una porción de alumnos y profesores que se interesan tanto por la mecánica automotriz como por el desarrollo de aplicaciones de control, y cuando los mismos rebasan una frontera de conocimiento necesaria, de acuerdo a las dos directrices y representada como una línea punteada en la gráfica, el usuario se torna entonces en el mercado objetivo.

Existe también el cuadrante denominado desarrollo e investigación en aplicaciones automotrices, que precisa tanto el conocimiento en aplicaciones de control como el conocimiento en mecánica automotriz. Dado que en el plan de carreras de la UNAM actualmente no está considerado para un perfil de carrera dirigido a este último cuadrante, es difícil asegurar que dentro de la población universitaria se cuente con un nicho de mercado con el conocimiento necesario para cumplir los criterios para considerarse un sujeto en condiciones de realizar aplicaciones para el sector de la industria del automóvil.

Dentro de la población de mercado estudiada hoy en día, se reconoce a los

fabricantes como el más pequeño de los segmentos del mercado y es el único que de acuerdo a las características de un ingeniero con experiencia en el ámbito, y con los recursos suficientes cumple con el perfil. Considerándolo un mercado potencialmente atractivo, pero se estima poco retribuyente elaborar una estrategia de mercadotecnia dirigida hacia él en esta fase del proyecto.

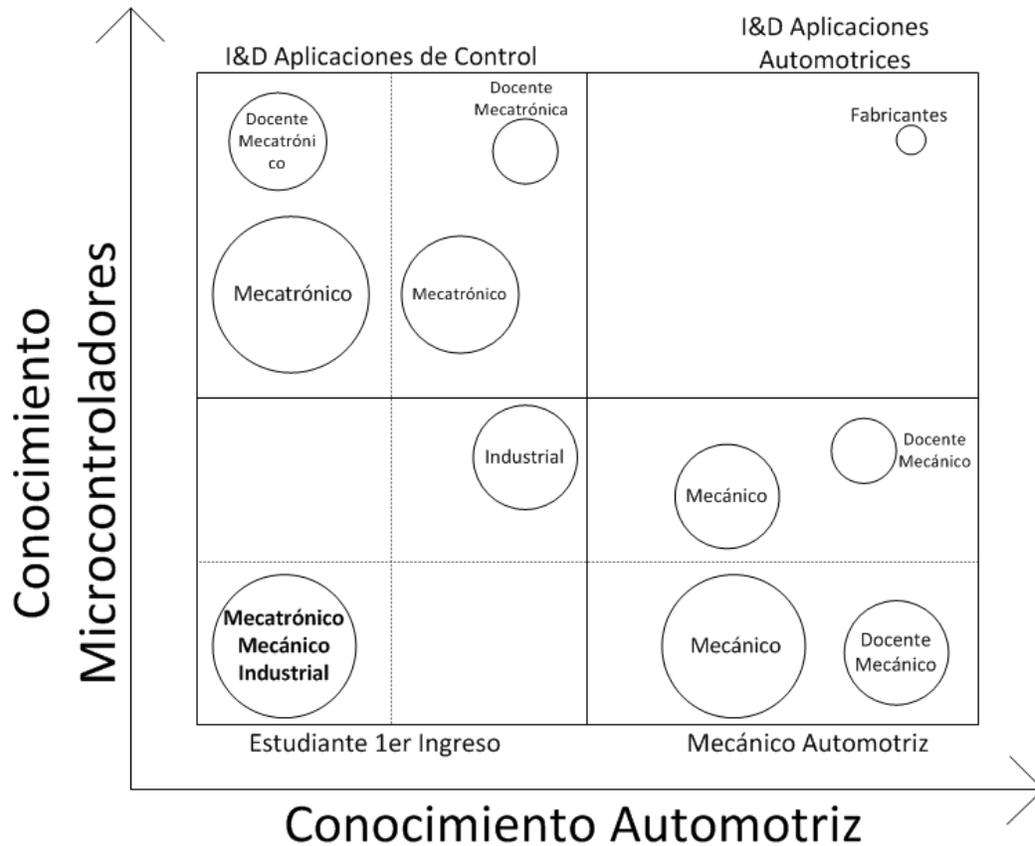


Figura 1.2: Segmentación del mercado actual de acuerdo al área de conocimiento en la facultad.

Si bien el objetivo de este análisis es identificar claramente el segmento de mercado que se pretende atacar, también se considera y es propósito de este proyecto aportar al gremio académico una de las herramientas necesarias para la construcción de un entorno de desarrollo estructurado diseñado específicamente para la puesta en práctica de teorías, hipótesis y experimentos que se pretendan convertir en tecnolo-

gías avaladas para su uso comercial.

Una vez que este proyecto sea llevado a su fase de lanzamiento, y trabajando en conjunto con otros proyectos dirigidos hacia los mismos objetivos, se observará como resultado en un mediano-largo plazo que la evolución del mercado objetivo estará en un nicho más experimentado, con mayores retos y sobre todo más ambicioso a la hora de perseguir una posición en la industria automotriz, siendo capaz de diseñar aplicaciones de convergencia tecnológicas robustas y eficientes, se forjará así la figura de ingeniero automotriz [Fig. 1.3].

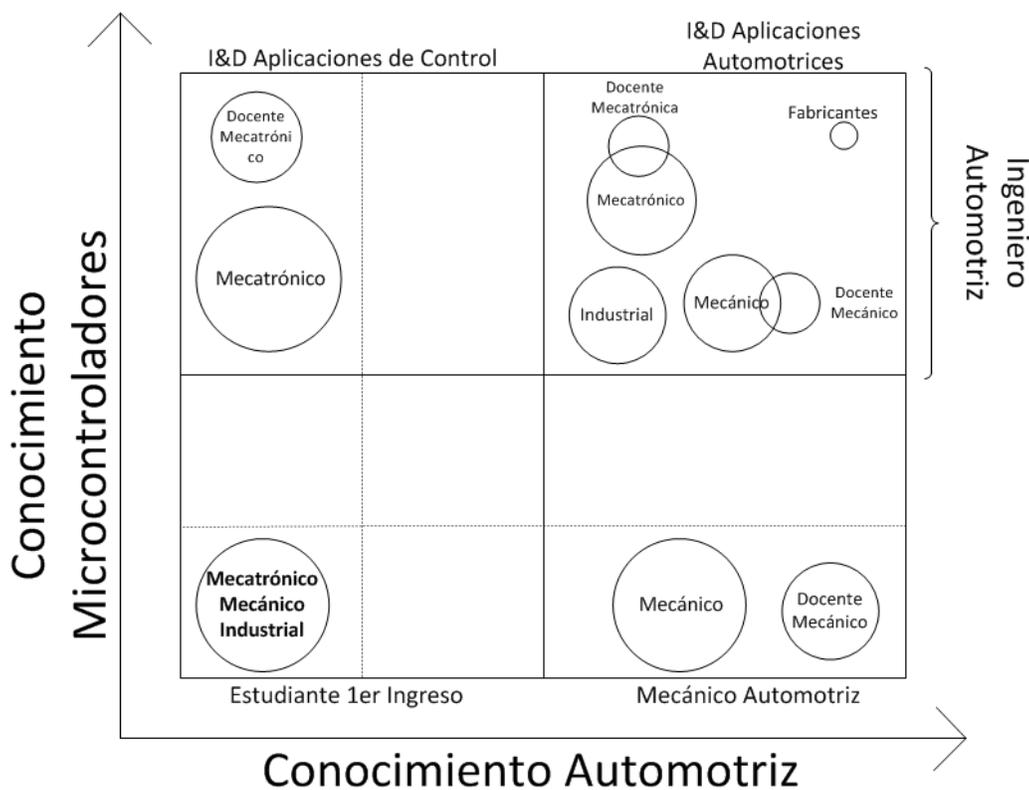


Figura 1.3: Segmentación del mercado en un futuro de acuerdo al área de conocimiento en la facultad.

Con ayuda de la segmentación del mercado se dimensionaron los distintos nichos de mercado que se pueden atacar, se planificó una estrategia de mercado y se ubicaron los segmentos de interés para ésta, la primera fase del proyecto: estudiantes de 1er

ingreso de cualquier carrera de la DIMEI; estudiantes y docentes de cualquier carrera que por sus conocimientos en el ámbito automotriz y en microcontroladores que rebasan la frontera de interés; y por último, los fabricantes de automóviles, que por el momento no se ven como objetivo para este proyecto.

I.2. Trayectorias tecnológicas

En los negocios que producen soluciones relacionadas estrechamente con la tecnología, es importante realizar una planeación de decisión donde se define si se adopta una tecnología conocida y probada, o se incursiona sobre un camino de tecnologías emergentes y en fase de desarrollo. Para poder objetivar el impacto que será elegir la planificación de un producto con una tecnología u otra, se estudia la evolución de las distintas tecnologías y se hace un análisis de carácter crítico para alinearse a la tecnología que más beneficios ofrezca al producto a diseñar.

Con ayuda de una gráfica de curva “S” se puede tener un panorama de la evolución y ciclo de vida de las tecnología a lo largo del tiempo [fig. 1.4 y fig. 1.5], es de gran ayuda al seleccionar qué tecnología se utiliza con base en el punto estratégico de funcionamiento del producto, si dicha tecnología representa un salto enorme en el descubrimiento de nuevas tecnologías, lo más lógico es alinearse a dicha tecnología siempre y cuando los costos de investigación y desarrollo no resulten en un producto altamente innovador pero de costo tal, que impida competir en el mercado objetivo.

En primera instancia se analizaron dos tecnologías de sistemas para la inyección de combustible al motor, que si bien las dos se han usado desde hace algún tiempo y ambas tienen ventajas y desventajas, son divergentes entre sí y el seleccionar correctamente el uso de una de los dos define el sentido de desarrollo de este producto.

El carburador como dispositivo de regulación de la mezcla aire-combustible ha existido desde la invención del automóvil, sin embargo con el surgimiento en la década de los años 80 de regulaciones más estrictas en el control de emisiones al medio ambiente, fue perdiendo mercado progresivamente y se convierte en un sistema complejo y sofisticado [fig. 1.4]. Implementar mejoras significativas para cumplir con las

regulaciones ambientales resultaba muy costoso. En cambio, el sistema inyección de combustible electrónico, desarrollado en la década de 1960 e introducido al mercado de forma masiva en los años 90, permite el control de la inyección de combustible a través de válvulas electrónicamente actuadas, lo cual permite un control más preciso de emisiones.

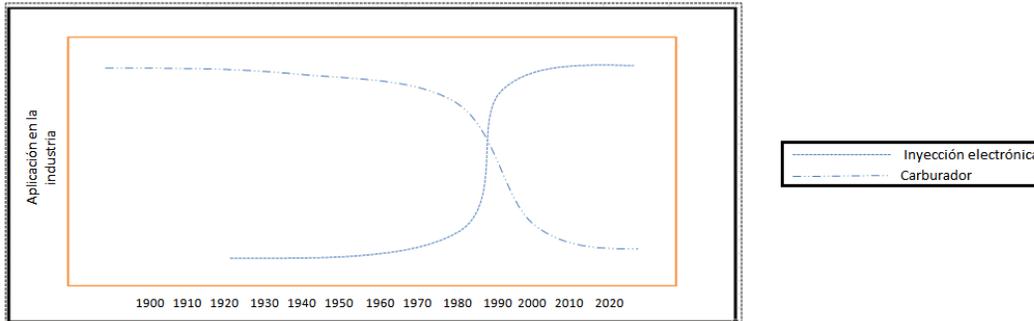


Figura 1.4: curva «S» para representar el ciclo de vida del carburador en comparación con la inyección directa.

Dado que en el presente trabajo se controla el motor, la tecnología más adecuada es el sistema inyección de combustible electrónico, ya que permite controlar un sistema mecánico a través de la integración de un sistema electrónico y un programa de control ejecutado desde una computadora.

Si bien el carburador es considerado como un sistema obsoleto, existen ciertas aplicaciones en el mercado automotriz de competencia y en aparatos industriales y caseros donde su aplicación es más conveniente que un sistema de inyección electrónico.

En la segunda etapa se propuso estudiar las diferentes tecnologías que existen [fig. 1.5], donde se pudiera desarrollar un programa robusto, confiable, seguro y escalable para el control del motor. Se detectaron de entre las distintas opciones un espectro muy amplio de tecnologías que cumplían con las características de diseño, partiendo desde los arreglos lógicos programables (GAL), Controladores de Interfaz Periféricos (PIC), hasta los sistemas de computación en tiempo real.

Un FPL es arreglo de compuertas lógicas que permite a las señales lógicas ser dirigidas hacia una salida lógica. Fueron muy populares durante las décadas de los

80 y 90, sin embargo su capacidad es baja y su mercado se ha ido reduciendo por las necesidades de la tecnología. Por otro lado, el FPGA tuvo un “boom” durante los años noventa en cuanto al volumen de producción con que se usaban, mayoritariamente en las redes y las telecomunicaciones.

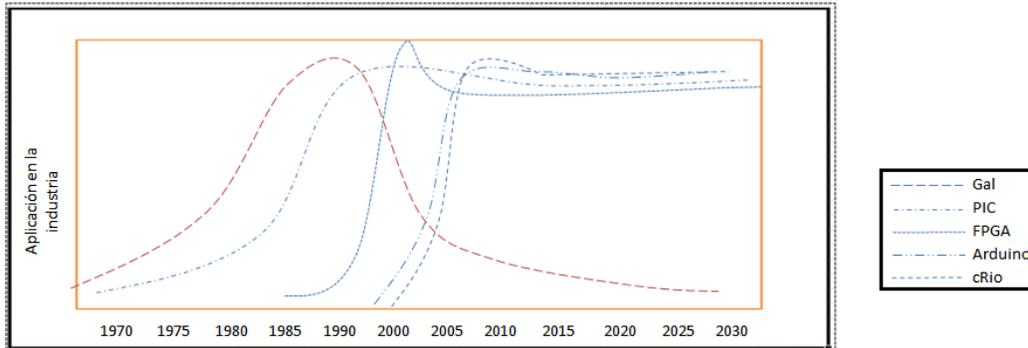


Figura 1.5: curva «S» para representar la popularidad con base en la funcionalidad en la industria de las tecnologías de procesamiento de señales.

En el mercado de los microcontroladores, el PIC fue desarrollado en la década de 1970 y desde entonces es ampliamente usado en la industria para un sinnúmero de aplicaciones. La aparición en el 2005 de la plataforma Arduino, más amigable con el usuario, compite con el PIC en el mercado académico para proyectos escolares, sin embargo la gran variedad de modelos y su bajo costo para producción a gran escala ha logrado mantener su lugar en el mercado de los microcontroladores.

National Instruments lanzó en 2004 el Compact RIO, un dispositivo que combina un arreglo de compuerta lógicas programables y un microcontrolador, que juntos forman una poderosa herramienta capaz de entregar velocidades de procesamiento del orden de los 400 MHz [5].

I.3. Planeación de la plataforma del producto

A medida que se avanza en la planeación del producto es momento de definir si se utiliza una plataforma ya existente o se designa un periodo de tiempo para investigar y desarrollar una plataforma completamente nueva para el producto.

Dado que el proyecto es una idea que se empieza a trabajar desde cero, no se cuenta con alguna plataforma previamente desarrollada a la cual se le realicen reformas y se pueda perfeccionar hasta llegar a generar un producto nuevo basado en una plataforma existente. No obstante se cuenta con diseños de otros productos que han pasado por todas las pruebas de estudio de mercado y que actualmente se comercializan satisfactoriamente, mismos que se pueden tomar como bases para partir y analizar las características que los colocan como productos visionarios, y entonces sí decidir si seguir los pasos de dichas firmas, bajando los costos de producción para hacerlo un producto más competitivo o incursionar con nuevas tecnologías no vistas en el mercado aún, para hacerlo un producto más revolucionario.

Para esta misión se lleva a cabo una investigación en línea sobre distintos productos que a su vez cumplen con las características del producto que se pretende desarrollar, se investiga con qué tecnologías fueron concebidos y cuáles son aquellas que los colocan como productos punta de lanza, para comprender en que se estriba el éxito de los mismos.

Dentro del margen de las posibilidades del banco de pruebas a diseñar, se identificaron distintos Bancos de Pruebas para motores de combustión interna y se genera un cuadro comparativo de las principales características de los mismos, tomando así en cuenta un criterio de búsqueda que fuera capaz de arrojar productos comerciales, de materiales asequibles y de carácter costeable para cualquier institución educativa.

Dicha recolección de información permite generar un mapa tecnológico donde se estipulan las diferentes tecnologías que utilizan cada uno de los productos investigados, y a su vez se comparan con el producto a desarrollar para reflexionar sobre las tecnologías que están a la vanguardia y cuáles otras se pueden mejorar [Fig. 1.6]. Para diferenciar el proyecto a desarrollar de los productos del mercado, y también para poder dirigirse al él en futuras ocasiones, se convino entre los integrantes del equipo que era el momento de elegir un nombre acorde al prototipo y etapa del proyecto. el **Universal Motor Stand Unit** es el nombre acordado por el equipo y **UMSU** el acrónimo con el que se refiere a él durante el proceso de desarrollo.

En el rubro de materiales para la estructura que soporta el motor y todos los componentes de los que el mismo depende, después de examinar los costos y

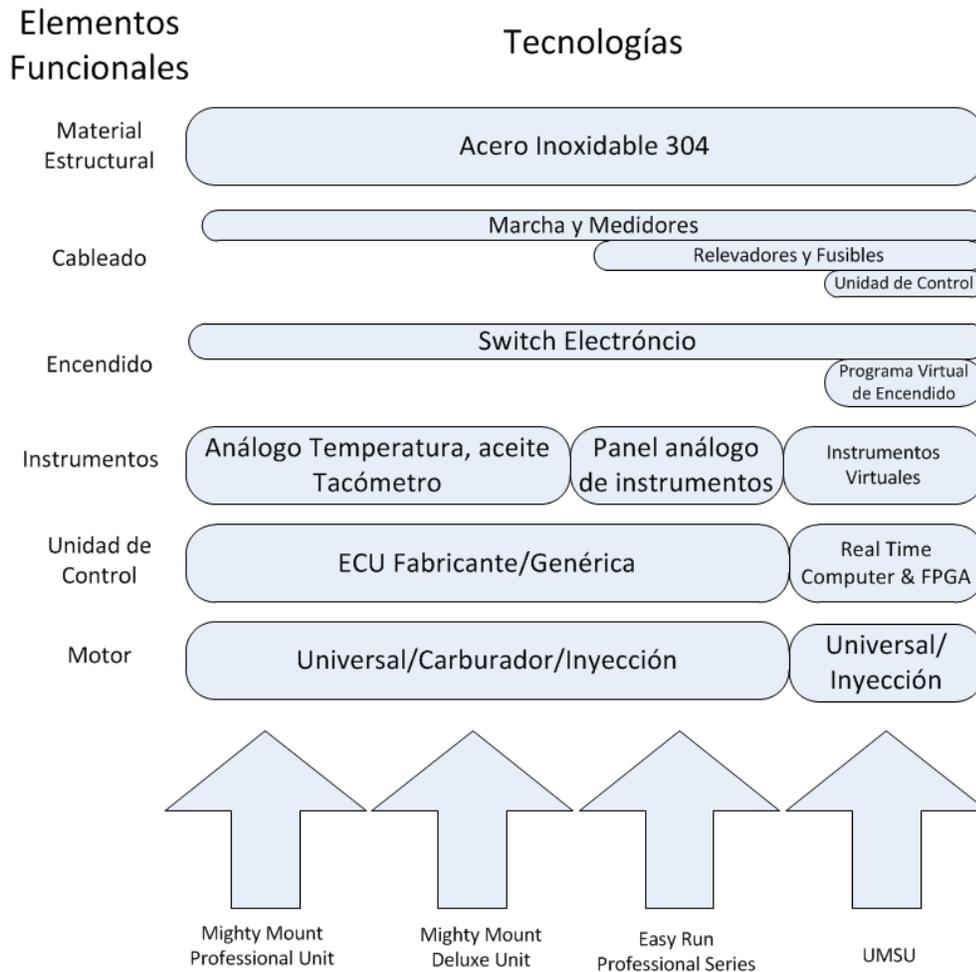


Figura 1.6: Mapa tecnológico de tres productos del mercado y el UMSU.

la disponibilidad de materiales en varias casas de metales se concluye que el acero inoxidable AISI 304 [4] es un excelente candidato para usarse como material de la estructura del banco de pruebas, pues cumple con los criterios de soldabilidad, rigidez y alta resistencia a la corrosión debido a su bajo contenido en carbono, así como una resistividad de 70-72 microOhm, que lo hacen idóneo para los propósitos de este proyecto. Como se observa en el mapa tecnológico en la figura 1.6, el uso de este material coloca al UMSU al mismo nivel en cuanto a robustez que las estructuras de los bancos de pruebas competidores; posteriormente se realizarán bosquejos, diseños

y análisis asistidos por computadora para definir la forma de la estructura, así como para determinar si basarse en los bancos ya existentes es la mejor opción o se puede optar por integrar una estructura más ligera y ahorrar costos en materiales.

Al comparar las conexiones y el cableado, se observa que la mayoría de los bancos de prueba cuentan con un sistema integrado que conecta la marcha del motor, batería y medidores a una centralita de fusibles y relevadores, sin embargo ninguno de los comparados contempla la integración de una unidad de control electrónico, la cual es perfectamente adaptable en el diseño del UMSU.

Si bien el encendido del motor no representa mayores complicaciones que la interconexión de un interruptor de alto amperaje, fusibles, relevadores y marchas, se observa en los otros modelos que el tener un solo sistema de encendido y apagado reduce los puntos de falla pero también eleva el riesgo de impedir el acceso al interruptor en caso de una emergencia. Asimismo se observa que al contar un solo interruptor de encendido y apagado, este debe ser capaz de cortar toda alimentación de corriente eléctrica tanto al motor como a los instrumentos. Se propone el uso de un interruptor físico de propósito general conocido como *Main Switch*, y a su vez un algoritmo robusto, que se implementa embebido en el código del programa de la unidad de control electrónica, siendo el segundo el encargado de encender y detener la alimentación de combustible al motor, así como la alimentación eléctrica a la bobina de ignición. Con esta práctica se permite contar con un sistema redundante consistente de dos interruptores principales, el físico que controla toda alimentación eléctrica a cualquier componente del UMSU y el virtual que permite controlar únicamente la corriente de la alimentación de combustible y al módulo de ignición.

Uno de los grandes desafíos de este proyecto es generar un producto capaz de ser escalable, reconfigurable y altamente robusto, creando así una plataforma y un sistema concebido para ir evolucionando y creciendo sin la necesidad de partir de una nueva plataforma, consideraciones que para el equipo de desarrollo pueden significar el éxito del UMSU a la hora de competir contra productos con mayor experiencia y penetración en el mercado. La propuesta de incluir una computadora de procesamiento en tiempo real y un FPGA trabajando en paralelo es en principio con el objetivo de obtener un gran procesamiento multitarea y a su vez un desarrollo progresivo

de un software modular. Esto con el argumento de obtener, conforme se avance en el proyecto, un mayor número de instrumentos virtuales que permitan adicionarse con el tiempo y medir más variables del motor. Llegando en etapas posteriores a integrar un sinnúmero de instrumentos que permitan al ingeniero descubrir, observar y desarrollar cuanta cantidad de aplicaciones como le sea necesario, esto utilizando la versatilidad de la plataforma ya existente. En contraste con los paneles analógicos de instrumentación con los que cuentan los productos de la competencia, se considera como la mejor estrategia de mercado para generar un producto exitoso.

El constante desarrollo de procesadores cada vez más potentes y veloces ha permitido desarrollar unidades de control electrónicas modulares que controlan embebidamente aspectos tan cruciales del automóvil como la tracción de las ruedas, sistemas de asistido de frenado, bolsas de aire, control de estabilidad electrónica, cajas robotizadas, funcionamiento de un determinado número de pistones dependiendo la condición del vehículo hasta la generación inmediata de reportes acerca de las distintas variables del camino, conducción y estado del vehículo que informan al conductor de una cantidad cada vez más grande de valores, o el centro de entretenimiento del vehículo. Todo esto con el fin de convertir un automóvil en un medio de transporte altamente seguro y a su vez en un ambiente de confort y diversión para los ocupantes. Si bien la tecnología ha permitido que la programación de microcontroladores, microcomputadoras y sistemas embebidos se desarrollen de manera cada vez más sencilla y con costos asequibles, es un hecho que los fabricantes de autos guardan muy celosamente toda la información y los códigos de programación que diseñan para programar las unidades de control de sus vehículos; puesto en contexto, es muy difícil tener algún tipo de acceso al código de control de las unidades de control electrónicas. Por lo que se tiene, obligatoriamente que adquirir una ECU de propósito general si es que se desea realizar alguna modificación en el funcionamiento actual del vehículo, pero incluso las mismas ECU genéricas son pre programadas y permiten únicamente la modificación de unas cuantas variables en las mismas. Tomando en consideración que el propósito general de este proyecto es construir una plataforma donde el usuario pueda generar nuevos códigos y módulos de control, no es conveniente incluir una unidad de control que permite la modificación de solo

algunas de sus variables y menos la integración de una unidad de control OEM para uso genérico. Por esta razón se decide incursionar en un dispositivo que permita el desarrollo del código de control del motor desde el principio, y este a su vez sea de código abierto para permitir la constante intervención de programadores en futuras mejoras.

Al ser un proyecto que promete su éxito en la versatilidad de la unidad de control, ésta está pensada para intervenir completamente en el funcionamiento del módulo de inyección y del módulo de ignición, siendo así más inflexible a la hora de adaptar un motor en la estructura.

Gracias al mapa tecnológico representado en la figura 1.6, se pueden definir los elementos funcionales principales a implementar en el diseño del UMSU, esta gráfica también permite puntualizar las diferencias entre los productos que se encuentran en el mercado y el que es desarrollado, para así poder tener un concepto claro de las fortalezas y debilidades que tendrá dicho proyecto. También es importante definir estas tecnologías para poder hacer un claro dimensionamiento de los recursos con los que se cuenta y a su vez proponer metas claras y ambiciosas pero sobre todo alcanzables. Para posteriormente generar el enunciado misión que se ha trabaja en este capítulo.

II. Asignación de recursos

Una vez comprendido el esfuerzo que se tiene que dedicar para poder resolver los desafíos que representa cada una de las tecnologías propuestas, entonces es importante definir los recursos que se tienen que implementar para obtener el diseño completo, en este punto se tiene que ser muy objetivo a la hora de plantear el tiempo necesario, pues es en esta fase donde se obtiene la información referente al tiempo necesario para llevar a cabo esta empresa.

Para la realización de este proyecto se plantea la asignación de recursos bajo la premisa de tener 3 horas hombre disponibles diarias efectivas trabajando 20 días al mes durante 6 meses [Tabla 1.2]. Debido a que la capacidad de recursos excede la demanda durante 5 de los 6 meses que estaba planteada la realización de este

Número de meses	6
Recursos humanos	2
Horas hombre por día	3
Horas hombre por mes	120
Horas totales	720

Tabla 1.2: Definición de recursos de tiempo en unidades horas-hombre.

proyecto, el tiempo de ejecución y cierre se extiende por 10 meses.

El proyecto de tesis comienza a partir de abril de 2012, y una de las metas es tener el primer desarrollo del prototipo listo en 6 meses. Mediante una tabla de recursos se estudia el tiempo estimado para cada una de las actividades y se reflexionará en el tiempo que se tiene previsto. Es de suma importancia constituir todas y cada una de las tareas en este diagrama para ser un equipo más preciso a la hora del desarrollo.

Durante los primeros meses gran parte del esfuerzo se dedicó a la búsqueda de componentes faltantes, al prometer un diseño elaborado con materiales económicos y de segunda mano, la búsqueda de los mismos precisa más tiempo que simplemente conseguirlos en una tienda de autopartes. Debido a que la interfaz para el control del motor es nueva para el equipo de desarrollo, inicialmente se invirtieron gran cantidad de horas-hombre en la familiarización con el software de ambiente de programación. Conforme va concluyendo el periodo de tiempo propuesto inicialmente por el equipo de desarrollo se puede observar en la tabla 1.3 que al final del mismo, todo el esfuerzo se dedica a la integración del sistema, búsqueda de componentes faltantes y en especial en el desarrollo de pruebas. Al ser el UMSU un prototipo completamente funcional se le dedica gran parte del esfuerzo final a la ejecución de pruebas y simulaciones.

Se tuvo una clasificación de las actividades que demanda la elaboración del proyecto con sus respectivas horas hombre entonces se realizó una sumatoria de las horas necesarias para concluir este proyecto y se comparan con las horas hombres disponibles para sacar un porcentaje de la demanda de todas las actividades en cada uno de los meses, con esta información se desarrolla una gráfica de la capacidad de

Actividad	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Búsqueda y adquisición de piezas	20	25	20	10	10	10
Diseño mecánico del banco	35	40	20	-	-	-
Manufactura	-	5	10	30	20	-
Diseño mecánico teórico banco	10	10	40	30	20	-
Diseño eléctrico	5	5	10	10	20	-
Software	70	60	40	40	30	10
Integración del sistema	-	-	-	10	30	10
Pruebas y ensayos	-	10	10	10	10	40

Demanda de recursos	140	155	150	140	140	60
Capacidad de recursos	120	120	120	120	120	120
Capacidad de utilización	117 %	129 %	125 %	117 %	117 %	50 %

Tabla 1.3: Definición de recursos de tiempo en unidades horas-hombre.

utilización.

Es un hecho que el tiempo es clave en el proyecto y generalmente mientras más rápido se lleve el producto al mercado se tienen más probabilidades acertar con un producto completamente innovador al mercado y competir contra productos que se encuentren más rezagados a nivel tecnológico, sin embargo lanzar un producto antes de que éste alcance una calidad competitiva puede generar desconfianza en el mercado y posicionarlo como un producto innovador pero de mala calidad. En el caso del UMSU, debido a la situación de ser un producto basado en una plataforma completamente nueva se pretende como objetivo concebir un prototipo y que el mismo se vaya perfeccionando por los mismos usuarios llegando a ser en un plazo a futuro una plataforma que compita contra los niveles más altos en los estándares de la industria automotriz, en este punto de versatilidad es donde radica la confianza que se tiene sobre el producto. Como se puede apreciar en la gráfica 1.7 de barras la demanda de tiempo para realizar las actividades excede con creces la cantidad total de horas hombre con las que cuenta el equipo de desarrollo, ocasionando así que el tiempo de diseño se extienda un par de meses más.

Si bien ya se conoce el tiempo estimado de investigación y desarrollo del producto, también se tiene que contemplar posibles contratiempos durante las fases de

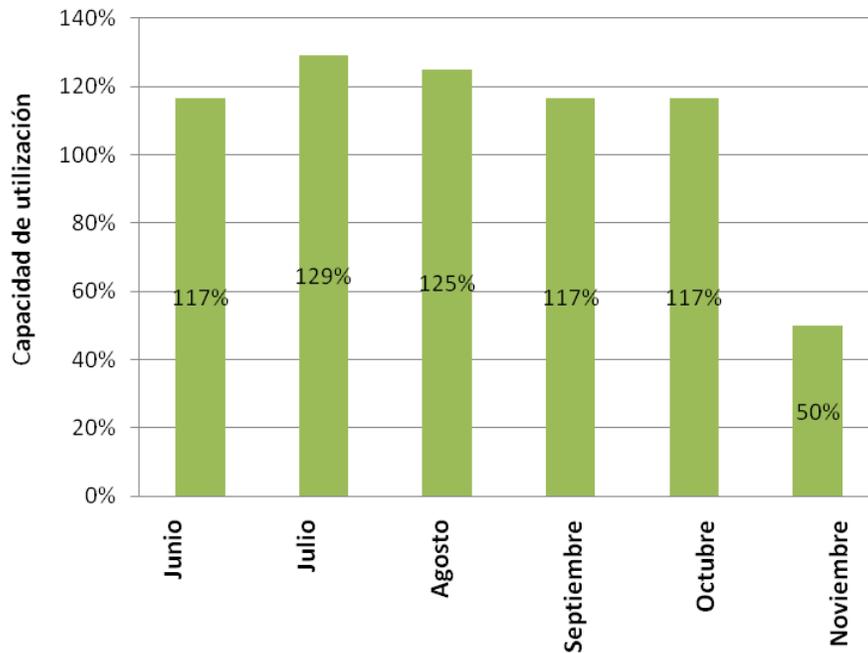


Figura 1.7: Gráfica donde se muestra la capacidad de demanda del proyecto por mes.

desarrollo, esto es un aspecto que para este proyecto en específico no representa un contratiempo económico, dado que el costo por horas hombre es casi imprescindible, sin embargo en la mayoría de los proyectos del mercado, un contratiempo podría ocasionar, desde multas por incumplimientos en la entrega en el tiempo estipulado en los contratos, hasta la suspensión completa del proyecto por interferir con el tiempo y los recursos de otro proyecto de mayor importancia.

Debido a la alta imprecisión en los detalles específicos al momento de desarrollar una plataforma completamente nueva, existe la necesidad de desarrollar un plan de recursos económicos siguiendo parámetros como el estudio actual del mercado, costo de materiales y componentes, así como posibles contratiempos en el proceso del desarrollo. Para realizar el balance de costos se dividió cada sistema en aquellos aspectos donde se tiene que invertir recursos económicos, calculándose así un costo de producción total de \$6,000 pesos [Tabla 1.4].

Dado que no se genera ningún tipo de gasto por honorarios para el proyecto

o para la institución, el único concepto que se toma en cuenta para este rubro son los servicios de un mecánico especialista para proveer de conocimiento mecánico del motor al equipo y la mano de obra en la manufactura de piezas específicas. La documentación es básicamente los costes que representa realizar una memoria técnica y adaptarla a un formato específico. Si bien hay un rubro que contempla el precio de la unidad de control NI-CRio, este es un bien que pertenece a la institución educativa por esta razón no se incluye en la lista de gastos este componente, sin embargo si el proyecto se extiende fuera de los límites de la facultad de ingeniería sería importante considerarlo.

Sistema	Componentes y materiales	Documentación y memoria técnica	Herramientas	Recursos humanos
Mecánico	\$3,000	\$200	\$800	\$200
Eléctrico	\$1,500	-	\$400	-
Control	\$25,000	-	-	-
Total	\$31,100			
Total sin CRio	6,100			

Tabla 1.4: Costos de investigación, planeación y producción del proyecto UMSU. Calculados con base en parámetros conocidos del mercado.

Tomando en cuenta que los bancos de pruebas de la competencia tienen un costo promedio entre 1,500 y 2,000 dólares americanos, el costo de producción del UMSU es bastante competitivo para un mercado académico.

III. Enunciado Misión

Cuando se eligió de entre las ideas propuestas el proyecto UMSU, el equipo de conceptos generó una visión que permitió compararla con el resto de las ideas para elegirse como la adecuada para su generación: “*Desarrollar un banco de pruebas, accesible y económico que permita al usuario interactuar con un motor de combustión interna para realizar pruebas y ensayos*”.

Ahora bien con la serie de pasos que se han seguido a lo largo de las iteraciones en el proceso de desarrollo, el proyecto va evolucionando desde una lluvia de ideas hasta convertirse en un concepto con una visión clara y una meta alcanzable, donde el equipo de conceptos es capaz de desarrollar un resumen de las directrices que guían al equipo de desarrollo durante las actividades de diseño del UMSU. Esta serie de directrices se interpretan como decisiones que se han ido concretando estribadas en el estudio profundo que se hizo sobre el mercado y el análisis de recursos así como el mapa tecnológico, dichas decisiones se enuncian en un resumen al que se le conoce como enunciado misión.

Una forma de asegurar que el los retos más finos sean enfrentados, es asegurarse de que la lista de todos los grupos de personas involucradas en el éxito o fracaso del producto o mejor conocidos como *Stakeholders* sea explícitamente detallada dentro del enunciado misión, empezando por los usuarios finales, secundado por los responsables de la decisión de compra y terminando por los clientes internos a las compañía, entre los que se encuentra el equipo de ventas y el equipo de concepto y desarrollo. Esto con el único fin de recordar al equipo de desarrollo que las necesidades de todos y cada uno de los *Stakeholders* deben de considerarse durante el proceso del diseño del producto [Tabla 1.5].

Descripción del producto	Plataforma de pruebas para un motor de combustión interna
Propuesta de beneficio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plataforma versátil y didáctica que permita al alumno interactuar con un motor de manera segura contribuyendo a su aprendizaje y al desarrollo de aplicaciones automotrices.
Metas clave del negocio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sentar las bases para el desarrollo de una plataforma y de un programa que soporte diferentes modelos de motores. ▪ Soportar el desarrollo de una unidad de control flexible, escalable, versátil y robusta. ▪ Aplicar todo el conocimiento de las carreras de ingeniería para integrar las mejores metodologías de diseño en un producto asequible y sencillo de manipular ▪ Servir como plataforma para todos los desarrollos futuros que el usuario vaya generando
Mercado primario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Instituciones educativas de nivel superior y medio superior
Mercado secundario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Talleres mecánicos y centros de investigación, fabricantes y desarrollo del sector automotriz.
Suposiciones y limitantes	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plataforma del producto completamente nueva ▪ Desarrollado íntegramente en las instalaciones de la UNAM ▪ Construido integrando materiales de segunda mano y económicos ▪ Manufactura limitada para ser llevada a una línea de producción ▪ Patrocinio de los recursos materiales completamente por parte de la institución educativa ▪ Control del motor usando los sensores más básicos ▪ Uso de Compact Rio como unidad de control electrónica ▪ Prototipo que será reformado y mejorado por los mismos alumnos hasta obtener un producto de estándares industriales ▪ Nivel de servicio de soporte muy limitado para el usuario final o casi nulo comparado con una compañía especializada
Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alumnos ▪ Profesores y académicos ▪ Instituciones educativas ▪ Fabricantes ▪ UNAM ▪ Equipo de desarrollo ▪ Distribuidores y equipo de <i>Marketing</i>

Tabla 1.5: El enunciado misión contiene la información indispensable para orientar el desarrollo del producto hacia un objetivo claro.

IV. Reflexión sobre el proceso y los resultados

Tomando en cuenta que el enunciado misión es la guía para el equipo de desarrollo, se debe hacer una revisión general antes de proceder con el proceso de desarrollo. Esta etapa es el momento de corregir puntos débiles antes de que se compliquen más e impacten en el futuro en el costo del proceso de desarrollo.

Con base en el proceso de desarrollo el equipo planteó diferentes preguntas para identificar puntos débiles y fuertes dentro del proyecto que permitan identificar la destinación de recursos hacia áreas que más lo necesiten.

P ¿Se cuenta con el conocimiento suficiente para realizar este proyecto?

R Se cuenta con suficiente conocimiento que ha venido adquiriendo durante el curso de la carrera, sin embargo al ser el primer proyecto de este tipo la experiencia es nula y requerirá gran esfuerzo para estudiar y comprender conceptos completamente nuevos.

P ¿Se cuenta con los recursos económicos suficientes para llevar a cabo el proyecto?

R No obstante la institución educativa patrocina gran parte del proyecto, también se debe asumir gastos.

P ¿El proyecto realmente tiene un objetivo concreto y claro?

R Siguiendo los pasos y criterios de este capítulo se han tomado decisiones claras que definirán las directrices y metas del proyecto, se tendrá que trabajar alineado a dichos criterios

P ¿Es realmente suficiente el tiempo que se está invirtiendo en este proyecto?

R Sin duda hay que implementar más tiempo del estipulado al principio para poder generar un prototipo funcional.

P ¿Realmente se llegará a un resultado acorde con lo objetivos planteados al principio?

R Si bien se han implementado objetivos claros de este proyecto, las exigencias del mercado pueden ir cambiando, así como los recursos con los que se cuenta.

P ¿Se tienen las herramientas necesarias para llevar a cabo el proyecto?

R Apoyándose con las herramientas que proporciona la universidad, se puede obtener y alcanzar las metas propuestas en el proyecto.

P ¿Cómo puede ser mejorado el proceso de planeación?

R El tiempo de planeación y diseño del UMSU es sobre demandante de acuerdo a las horas hombre con las que el equipo cuenta para el completo desarrollo de este proyecto

P ¿Se han explorado todas las posibles alternativas para conseguir recursos?

R Sí, se ha recurrido a otros departamentos buscando fondos y a instituciones que brindan patrocinios bajo el esquema de becas de titulación, recursos que permitirán fondear los costos de investigación y desarrollo.

Capítulo 2

Identificación de las necesidades

En el capítulo 1 se enfatizó sobre la importancia al seleccionar, de entre varias ideas, la que de acuerdo a los criterios del equipo de desarrollo se adaptara mejor al comportamiento y crecimiento del mercado. Se analizaron desde varios puntos de vista las implicaciones y se concientizó acerca de los recursos necesarios para desarrollar y poder traer al mercado cada una de las ideas, y alineado a una metodología de diseño se creó un modelo para seleccionar la idea más convincente, misma que se sospecha que el mercado adoptará más velozmente. Una vez hecho un estudio profundo de mercado y constituidos los aspectos claves de los objetivos del proyecto, el equipo de desarrollo estipuló el enunciado misión, una serie de enunciados que describen a grandes rasgos los supuestos que involucran el desarrollo de dicho proyecto, dejando bien señalada la dirección hacia la que el equipo de desarrollo debe encaminar el producto.

Gracias al enunciado misión [ver el capítulo 1], se puede confiar en que el rumbo que tomarán al diseñar el UMSU está libre de desvíos y confusiones, no obstante el enunciado misión no ofrece una clara respuesta de hasta dónde debe llegar el producto y qué posición debe tomar el mismo en el mercado. Para saber cómo se debe proceder al diseñarlo y a qué destino debe llegar el producto, se necesita crear un canal de comunicación confiable entre los clientes o usuarios finales y todos los individuos involucrados en el proceso de diseño del producto, generando así un vínculo que ayude al equipo de desarrollo a conocer cuáles son las expectativas de los usuarios y

a advertir bajo qué ambiente y condiciones se operará el UMSU.

Una condición indispensable para el éxito de un producto es que el mismo ofrezca un modo de resolver las necesidades del mercado. El proceso de identificar las necesidades es una fase integral dentro de un proceso de desarrollo más extenso y complejo, donde las necesidades son mayormente independientes a las especificaciones de cualquier producto en particular que se ansíe desarrollar; no se pretende que dichas necesidades sean las especificaciones del producto necesariamente, tampoco se toma en cuenta que dichas necesidades sean tecnológicamente o económicamente factibles ni que se expresen siguiendo criterios definidos de competencia. En principio el usuario final presenta ideas sobre el uso, apariencia y operación del producto, así como mejoras que pudieran tener los productos con los que se involucra actualmente y el equipo de diseño es el encargado de convertir las necesidades más críticas en especificaciones de producto como se muestra en la figura 2.1.

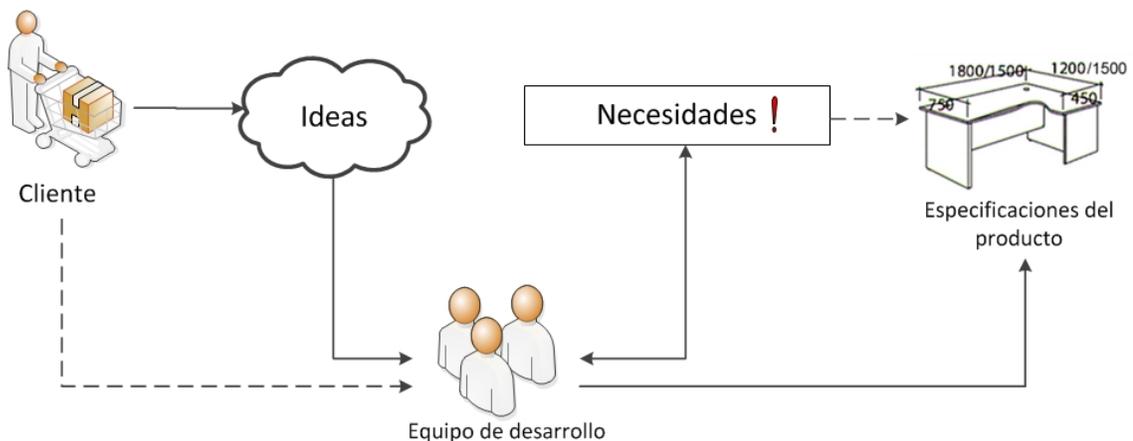


Figura 2.1: Proceso de recopilación de información de los clientes, interpretación e identificación de necesidades y generación de especificaciones del producto.

I. Recopilación de información sin procesar

Siendo consistentes con la premisa de generar un canal de información confiable entre los usuarios y el equipo de desarrollo, mismo que está conformado por los integrantes

Ideas obtenidas de los usuarios entrevistados

- El banco de pruebas debería de estar en un taller con ventilación pero no a la intemperie.
 - Necesito programar los inyectores, el software, la rigidez del motor, simular soportes para afectar la amortiguación, conectarle dispositivos relacionados a un banco de pruebas, pruebas de aceite.
 - La interfaz debe ser muy sencilla, me gustaría que sea una pantalla con un botón de ayuda donde te indica qué parámetros hay que capturar en cada campo, también me gustaría que la plataforma te fuera llevando por el proceso.
-

Tabla 2.1: Ejemplo del formato de las respuestas obtenidas por parte de los clientes en la entrevista, ver Apéndice C.

de esta Tesis. Se adoptó un método comúnmente usado para obtener información de los clientes y conocer las opiniones que tiene el público respecto a otros productos del mercado.

Posteriormente se generó una serie de preguntas que sirvieron para realizar entrevistas en sesiones de treinta minutos a varios individuos de los distintos segmentos del mercado objetivo [ver el capítulo 1], cuestionándolos acerca de las expectativas que esperarían cubrir al usar el UMSU y de cómo se antojaría el ambiente de operación del mismo; las respuestas se presentaron en una forma desorganizada y redundante, como se muestra en el ejemplo 2.1, pero con varios argumentos de valor embebidos. Como complemento a las entrevistas se hicieron encuestas en formato de texto con las preguntas generadas por el equipo de desarrollo, y se enviaron a los usuarios que no pudieron presentarse a la entrevista, también se hicieron conferencias telefónicas con los usuarios que así lo prefirieron. Culminando la actividad se recopilaron, enunciados de los clientes que revelaron al equipo de desarrollo el nivel de certeza que presume el enunciado misión como guía al desarrollar el producto.

Dado que el UMSU es un producto que está pensado para el uso principalmente en instituciones académicas es también importante identificar a la institución como la indicada para proporcionar los fondos para hacer la adquisición del producto, por esta razón las entrevistas se desarrollaron pensando tanto en el usuario final como en el comprador.

II. Interpretación de la información sin procesar

Una vez transcritas las notas recopiladas en las entrevistas de los usuarios, se concentra el texto en un documento que relata apenas un dialogo entre el entrevistado y el entrevistador [Apéndice C], dicho texto no representa mayor información para el equipo de desarrollo que unos párrafos desordenados en la misma forma que se expresan las ideas cuando surgen de la mente. Es tarea del equipo de desarrollo reescribir estos párrafos en enunciados concretos donde cada uno de estos enunciados formulará máximo una idea de manera clara y explícita. [Tabla 2.2]

Enunciado del cliente	Necesidades interpretadas
El soporte debería de estar en un taller con ventilación pero no a la intemperie.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EL UMSU se opera en un ambiente con ventilación.
Necesito programar los inyectores, el software, la rigidez del motor, simular soportes para afectar la amortiguación, conectarle dispositivos relacionados a un banco de pruebas, pruebas de aceite.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El UMSU permite programar los inyectores. ▪ El UMSU permite monitorear la rigidez del motor. ▪ El UMSU permite simular soportes de motor. ▪ El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo. ▪ El UMSU permite monitorear el aceite.
La interfaz debe ser muy sencilla, me gustaría que sea una pantalla con un botón de ayuda donde te indica qué parámetros hay que capturar en cada campo, también me gustaría que la plataforma te fuera llevando por el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EL UMSU cuenta con una Interfaz sencilla. ▪ La Interfaz del UMSU tiene un botón de ayuda que indica qué colocar en cada campo. ▪ La Interfaz del UMSU tiene un wizard que te lleva por el proceso de configuración.

Tabla 2.2: Extracto de la interpretación de las ideas de los usuarios entrevistados en necesidades específicas, Apéndice C.

Una vez estructurada la información en forma de enunciados explícitos, varios miembros del equipo interpretan las ideas de los clientes en forma de necesidades, permitiendo así que de cada idea pudiesen surgir una o más necesidades.

La lista generada de las necesidades de los clientes, es una interpretación realizada por varios miembros del proyecto que no distingue entre ideas aventuradas, conflictivas, precipitadas, o tecnológica y económicamente factibles. Es responsabilidad de los interpretadores generar dicha lista sin distorsionar la información original del cliente.

III. Jerarquización de las necesidades

Si bien realizar las entrevistas a distintos usuarios es un proceso lento y que demanda un esfuerzo considerable al encuestar, grabar y transcribir el audio en un texto, los resultados son muy ventajosos, pues dentro de una lista de más de doscientas necesidades que surgieron tras este proceso, hay necesidades que el mismo equipo de desarrollo, aun haciendo estudios de mercado, no había concebido. Antes de poder empezar a trabajar con estas necesidades, para convertirlas en especificaciones del producto, se tiene que integrar y ordenar cada una en jerarquías creando grupos de necesidades que compartan características entre sí: eliminando las necesidades repetidas y disminuyendo el número de más de doscientas a unos veinte grupos de necesidades.

Para poder agrupar las necesidades, el equipo de desarrollo crea necesidades genéricas que comparten las características de varias necesidades particulares y actúan como etiquetas de los grupos. Con la jerarquización de las necesidades, el equipo de desarrollo asimila que en un futuro, las especificaciones del producto deberán satisfacer a por lo menos una necesidad de cada uno de los grupos; y a su vez, facilita el identificar las necesidades que son antagónicas y las mismas que están repetidas o son tan similares que pueden considerarse duplicadas.

Como se muestra en el extracto de la jerarquización de las necesidades en la tabla 2.3, una vez que se cuenta con la lista de necesidades agrupada en categorías, se califica, a criterio de los desarrolladores, cada una de las oportunidades siguiendo una

Necesidades calificadas y agrupadas en jerarquías	
<p>*** EL UMSU configura las características del motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> * EL UMSU permite modificar el múltiple de admisión. *** EL UMSU permite configurar la ECU. *** EL UMSU permite controlar la inyección electrónica. <ul style="list-style-type: none"> ** El UMSU controla el chicote de aceleración. ** El operador puede variar la chispa de ignición. <p>*** EL UMSU mide las características de un motor.</p> <ul style="list-style-type: none"> * El UMSU mide la composición química de la mezcla. *** EL UMSU permite monitorear el aceite. *** EL UMSU permite obtener la temperatura del motor en tiempo real. <ul style="list-style-type: none"> * El UMSU permite simular soportes de motor. *** EL UMSU permite medir las revoluciones por minuto. <ul style="list-style-type: none"> ** EL UMSU permite obtener el rendimiento de combustible. <p>*** EL UMSU es configurable.</p> <ul style="list-style-type: none"> ! EL UMSU le permite al operador actualizar y modificar las funciones actuales. ** EL usuario puede modificar la parte mecánica del UMSU. *** EL usuario puede modificar el software del UMSU. 	<p>*** EL UMSU es modular.</p> <ul style="list-style-type: none"> * El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo. ** EL UMSU acepta la adaptación de una transmisión. ** EL UMSU acepta la adaptación de otras máquinas relacionadas al proyecto. <ul style="list-style-type: none"> * EL UMSU acepta la adaptación de dispositivos móviles. *** EL UMSU evoluciona con la adición de módulos. <ul style="list-style-type: none"> ! EL UMSU se instrumenta a petición del usuario. <p>*** EL UMSU es seguro.</p> <ul style="list-style-type: none"> *** EL UMSU tiene un botón de corta corriente. *** EL UMSU cuenta con barreras de seguridad y protección. *** EL UMSU cuenta con sistema de paro de emergencia. *** EL UMSU cuenta con ventilación. *** EL UMSU requiere contar con un extintor dedicado. *** EL UMSU requiere de protectores de oídos. <ul style="list-style-type: none"> ** EL UMSU requiere de batas de laboratorio.

Tabla 2.3: Extracto de la lista generada de las necesidades agrupadas por jerarquías y calificadas como: poca importancia *, importante **, crítico *** y necesidad latente !, Apéndice C.

escala definida como: poca importancia, importancia media y crítica, así como una nota especial que indica si una de las declaraciones es una necesidad latente; o lo que es lo mismo, una necesidad que no se había señalado por los usuarios anteriormente pero les sorprende y la consideran importante cuando se les plantea.

Al finalizar estas actividades, los desarrolladores son capaces de verificar que las necesidades obtenidas sean consistentes con la visión que el equipo de desarrollo ha adquirido después de estar varias horas trabajando de la mano con los usuarios finales. Cuando se reflexiona sobre el procedimiento llevado a cabo, todo el equipo de desarrollo debe coincidir afirmativamente con algunos supuestos; ha interactuado con todos los segmentos del mercado objetivo; puede ver más allá de las necesidades que se relacionan a productos existentes, esto con la finalidad de encontrar necesidades latentes; ha identificado las áreas de inquietud donde se deben generar más encuestas o entrevistas; toda la gente del equipo que necesita entender los requisitos de los clientes se ha involucrado en el proceso de identificación de necesidades.

Como una herramienta para el diseño del producto se interpretaron las ideas

de los clientes que fueron entrevistados, y se obtuvieron necesidades jerarquizadas en grupos que le permiten al equipo de desarrollo trabajar en un producto con especificaciones que satisfacen las necesidades más críticas, así como las necesidades latentes.

Capítulo 3

Especificaciones del UMSU

Como se vió en el capítulo 2, es necesario crear un canal de comunicación entre los usuarios finales y el equipo de diseño del proyecto, para generar un vínculo que ayude al equipo a conocer qué es lo que esperan obtener los usuarios del producto. A partir de la información obtenida por medio de entrevistas y encuestas, se recopilaron enunciados de cada cliente y se creó una lista que enumera un universo de necesidades. Aunque estas expresiones son útiles para entender claramente lo que el cliente desea, proveen poca información técnica de cómo diseñar y desarrollar el producto. Por esta razón es necesario interpretar las expresiones en enunciados más concretos que ayuden al equipo de diseño a determinar, bajo un lenguaje técnico lo que debe hacer el producto final a través de especificaciones del producto.

Las especificaciones del producto representan un acuerdo entre lo que el equipo intenta lograr para satisfacer las necesidades del cliente a través de una característica medible: siendo la descripción exacta de lo que el producto debe hacer. Las especificaciones por lo regular tiene un valor y una unidad, no importa que tan abstracto sea el producto, por ejemplo si el producto usa aceite se especifica la viscosidad y la temperatura, pues son factores de diseño que permiten el funcionamiento de un mecanismo.

En esta fase, el equipo de desarrollo cuenta con información suficiente para plantear objetivos de diseño con base en la creación de conceptos; sin embargo, es muy temprano para establecer con precisión las características que tendrá el produc-

to en el mercado. Por esta razón se plantean dos tipos de especificaciones: las que se establecen inmediatamente después de la interpretación de necesidades por medio de valores marginales e ideales, conocidas como especificaciones objetivo; y las que son producto de una iteración de soluciones hasta llegar a un concepto final con características definitivas, o especificaciones finales. Por la misma razón, las especificaciones finales no se pueden obtener hasta que se haya constituido el concepto promisorio para el mercado objetivo.

I. Asignación de métricas a cada necesidad

Una especificación está compuesta por la necesidad interpretada con una métrica y un valor. Una métrica es la cuantificación física de los elementos que integran la necesidad, por ejemplo: la necesidad que establece que el banco debe operar en un espacio de pruebas está relacionada a unidades de longitud. En este caso el equipo de desarrollo establece que la métrica que mejor describe esta necesidad se mide en metros. Las métricas deben ser prácticas, esto quiere decir que no es recomendable usar unidades que sean medidas con instrumentos costosos, o cálculos complicados [Ver Tabla 3.1].

Necesidad Interpretada	Métrica
EL UMSU se manipula en un entorno cerrado	Volumen banco.
Los gráficos y mediciones se ven en una pantalla instalada en la plataforma	Interfaz gráfica GUI.
La plataforma de pruebas cuenta con un puerto USB para exportar la información a una memoria flash	Almacenamiento externo.
La plataforma de pruebas cuenta con una computadora dedicada para gestionar los datos	Sistema de control.
La plataforma de pruebas puede operar en sesiones de una jornada escolar	Tiempo de operación.
EL UMSU mide la cantidad de oxígeno en el escape	Sensor de oxígeno.
El UMSU mide el ruido generado por el motor	Sensor de ruido.
EL UMSU puede ser operada en un ambiente con ventilación	Ventilador.
El UMSU se manipula en un ambiente abierto	Volumen banco.
El UMSU permite monitorear la rigidez del motor	Rigidez.
El UMSU permite simular soportes de motor	Diferentes tipos de soportes.
El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo	Modular.
El UMSU permite monitorear el aceite	Sensor de temperatura aceite.
El UMSU permite al usuario entender conceptos de manufactura	Didáctico.
El UMSU cuenta con una guía rápida de instalación y uso	Manual de usuario.

Tabla 3.1: Extracto de tabla que muestra las necesidades interpretadas y su métrica relacionada Ver Apéndice C.

Existen necesidades que no se pueden interpretar con métricas en unidades convencionales, por ejemplo la necesidad de generar conocimiento utilizando el UMSU es una métrica que no depende de una unidad cuantificable, más bien depende de la opinión cualitativa de cada usuario. En caso de que la métrica sea importante para el éxito del producto, el cómo medirla significa un aspecto clave en el proceso de diseño. En estos casos, la métrica se propone como una unidad subjetiva, misma que es evaluada por un panel de usuarios finales seleccionados específicamente.

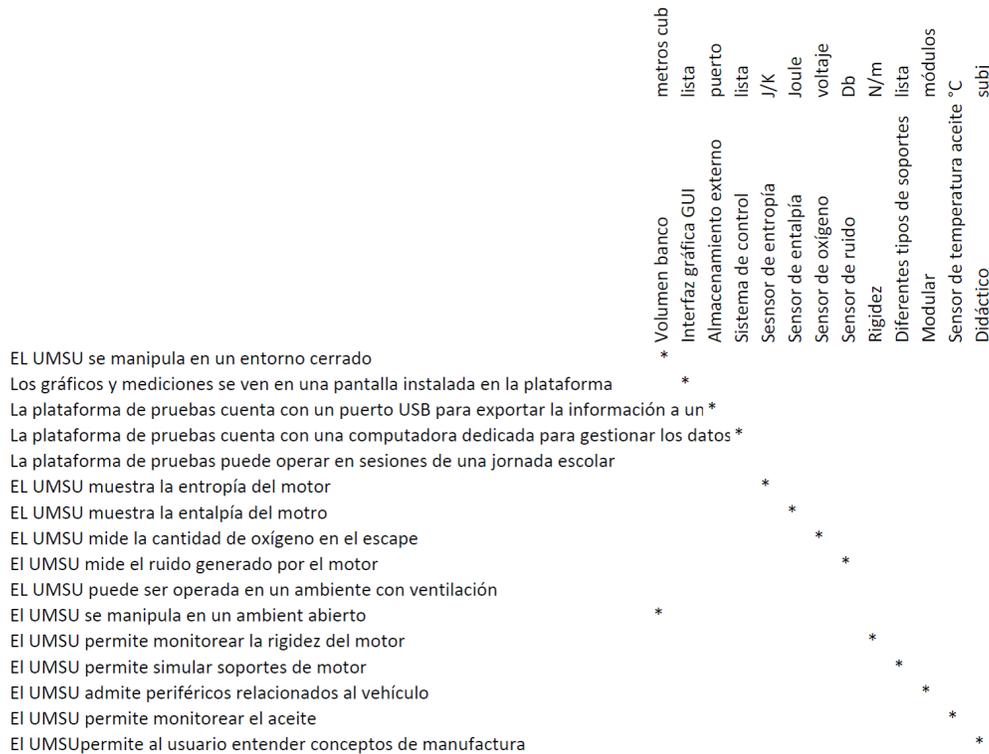


Figura 3.1: Extracto de la matriz QFD que relaciona las necesidades recopiladas con las especificaciones del UMSU Ver Apéndice C

Por otro lado, existen necesidades donde la métrica está supeditada a otros elementos que pertenecen a un conjunto de una tecnología específica; como por ejemplo, a la necesidad “ contar con una computadora dedicada a gestionar los datos del motor” no se le puede asignar una métrica con magnitudes físicas, así como tampoco se puede calificar por el usuario, por lo tanto se propone como unidad “lista” de tal

forma que el equipo de diseño escoge entre varias opciones de un conjunto la que mejor se adecue al proyecto. Finalmente, existen métricas que se refieren a dos estados: verdadero y falso; que se denominan “binarios”.

Gracias al proceso anterior se identificó una especificación del producto relacionada a cada una de las necesidades interpretadas. Se generó una tabla que muestra dicha relación entre la necesidad con la especificación y su relativa importancia. Adicionalmente, con el fin de visualizar con mayor detalle la relación existente entre la necesidad y la especificación se crea una matriz necesidad-métrica[ver Fig.3.1].

II. Valores objetivo y marginalmente aceptables

Si bien se establecieron unidades para cada una de las necesidades del capítulo anterior, es necesario reparar en asignar valores a cada métrica para lograr que cada una de las especificaciones satisfaga a las necesidades con las que se relaciona. Existen dos clases de valores con los que se puede vincular cada especificación: el valor que significa cumplir con las demandas brutas del mercado asegurando el éxito del producto sin tomar en cuenta costos de producción y permisibilidad tecnológica, valor ideal; y el valor que permite al producto mantenerse competitivamente dentro del mercado objetivo, valor marginal.

Se utilizaron cinco criterios para expresar los valores que se asignarán a las métricas: un rango de valores que estuvieran por arriba de un límite inferior, por debajo de un límite superior, entre un límite inferior y uno superior, exactamente un valor, y un conjunto de valores discretos. [VerTabla 3.2]

Necesidad Interpretada	Métrica	Unidad	Valor marginal	Valor ideal
El UMSU permite monitorear el aceite	Sensor de temperatura aceite	°C	[0 - 120 °C]	[0 - 120 °C]
El UMSU obtiene la temperatura del motor en tiempo real	Sensor de temperatura	°C	[0 - 97 °C]	[0 - 97 °C]
EL UMSU es operado por alumnos a partir de 6 semestre	Habilidad técnica	horas	>50 horas	70 horas
EL usuario inexperto aprende del UMSU	Habilidad técnica	horas	>100 horas	>100 horas
EL UMSU permite configurar la ECU	Intrefaz de control	# Variables	>5	>10
EL UMSU permite controlar la inyección electrónica	Actuadores lineal	ms	[3 - 6 ms]	[1 - 10 ms]
EL UMSU cuenta con una bitácora de operaciones	Bitacora operaciones	hojas y mb	>30 Mb/usuario	>100 Mb/usuario
La bitácora del UMSU registra las condiciones iniciales y finales	Bitacora operaciones	hojas&MB	>30 Mb/usuario	>100 Mb/usuario
La bitácora del UMSU registra las mediciones que se tomaron	Bitacora operaciones	hojas&MB	>100 Mb/usuario	>400 Mb
EL UMSU puede estar funcionando por periodos de 2 a 3 hrs	Tiempo de operación	horas	>1.5 horas	>= 3 horas
EL UMSU permite al usuario generar código nuevo	Ambiente de desarrollo software	líneas de código	>500	>2000
El UMSU permite medir las revoluciones por minuto	Sensor del cigüeñal 24X	RPM	[0 - 3000 RPM]	[0 - 5500 RPM]

Tabla 3.2: Extracto de tabla que muestra las métricas de las necesidades con sus respectivos valores marginales y objetivos, Apéndice C.

III. Segmentación de las especificaciones

Las especificaciones establecidas por parte del equipo de diseño se segmentaron de acuerdo a la jerarquía de la necesidad definida en el capítulo anterior con el fin de contar con un orden que permita visualizar e identificar aquellas que son más críticas para la selección del concepto.

Las especificaciones en cada segmento están ordenadas en función de dos prioridades: la prioridad de la jerarquía, como la más importante; y la prioridad de la necesidad. [Ver Tabla 3.3]

Prioridad Jerarquía	Prioridad	Necesidad	Jerarquía
1	1	EL UMSU permite configurar la ECU.	EL UMSU configura las características del motor.
1	1	EL UMSU permite controlar la inyección electrónica.	EL UMSU configura las características del motor.
1	2	El UMSU controla el chicote de aceleración.	EL UMSU configura las características del motor.
1	2	EL operador puede variar la chispa de ignición.	EL UMSU configura las características del motor.
1	1	Cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones.	Cuenta con manual de operación.
1	2	Cuenta con una guía rápida de instalación y uso.	Cuenta con manual de operación.
1	2	Cuenta con un manual de instrucciones muy extenso y detallado.	Cuenta con manual de operación.
1	1	La interfaz del UMSU permite elegir de entre distintas variables para medir.	EL UMSU cuenta con una interfaz.
1	1	La interfaz de control del UMSU es un software.	EL UMSU cuenta con una interfaz.
1	1	El Software de la interfaz permite al usuario modificar distintos parámetros de operación.	EL UMSU cuenta con una interfaz.
1	2	EL UMSU cuenta con una interfaz digital.	EL UMSU cuenta con una interfaz.
1	1	EL usuario inexperto aprende del UMSU.	EL UMSU es didáctico.
1	2	Permite practicar conceptos de programación.	EL UMSU es didáctico.
1	3	Permite al usuario entender conceptos de manufactura.	EL UMSU es didáctico.
1!	1!	EL UMSU le permite al operador actualizar y modificar las funciones actuales	EL UMSU es configurable.

Tabla 3.3: Extracto de tabla que muestra necesidades divididas en jerarquías, así como su prioridad, tanto por jerarquía como por necesidad, Apéndice C.

Así mismo, la prioridad de la especificación depende de la importancia que se le haya dado a la necesidad en cuestión. Cuando una especificación está relacionada con solo una necesidad, la importancia de la necesidad y de la especificación se considera la misma. De forma análoga, cuando una especificación se relaciona con más de una métrica es sometida a discusión para determinar subjetivamente su importancia. El orden de importancia determina la prioridad con la que el diseño debe ser realizado.

Finalmente, el equipo de desarrollo puede aprovechar que las especificaciones tienen métricas y valores para incursionar en el proceso de creación de conceptos relacionados a los valores de las especificaciones del producto previamente estructurados. Hacer varias iteraciones de la revisión de las especificaciones asegura que los resultados de la selección del concepto sean consistentes con los objetivos de diseño del proyecto.

Capítulo 4

Generación y selección del concepto

Se han establecido las necesidades y especificaciones del producto con base en ideas; fuente de una selección de usuarios pertenecientes a los distintos segmentos del mercado. La variedad de perfiles de los usuarios y la relación que existe entre los diferentes objetivos del proyecto han permitido generar especificaciones con métricas y valores alineadas a las mejores prácticas de diseño para fundar como resultado unas bases para el futuro éxito del proyecto en el mercado. No obstante, entender las necesidades del mercado no es razón suficiente para garantizar el éxito del proyecto, este depende en gran medida de la calidad que se empleó en la generación de conceptos del producto, y una sabia selección de los mismos.

Para lograr una generación de conceptos ventajosa, es necesario que la lista de especificaciones sienta las bases de la creación de bosquejos [Apéndice E] o modelos que aseguran convertirse en un concepto capaz de cumplir los requerimientos previamente definidos. La generación del concepto es una descripción metódica que justifica en gran medida las características técnicas del producto y normalmente se acompaña de una descripción conceptual. [26]

I. Aclaración del problema y propuesta de soluciones

Durante el proceso de generación de conceptos el equipo de desarrollo convino en que el UMSU se dividiera en cuatro sistemas fundamentales e independientes entre sí para poder estudiarlos y resolverlos individualmente: sistema mecánico, que incluye la estructura donde será montado el motor; sistema eléctrico, se compone de los elementos de transformación, generación y alimentación de energía; sistema de control, donde se integran los programas que controlarán el funcionamiento del motor, así como los que interactuarán con el usuario; y el sistema de usuario, mismo que expone al usuario como una parte integral del proyecto que cuenta con características que permiten o no el funcionamiento del mismo. De esta forma al proponer la solución de la problemática de cada uno de los sistemas en particular, los otros sistemas que integran al UMSU no se verán influenciados o afectados por dicha solución. Así mismo el reto de cada uno de los sistemas consiste en cumplir con una lista de especificaciones concernientes a cada sistema [Ver Capítulo 5], y una vez resueltos los cuatro sistemas por separado, el reto consiste prácticamente en integrar los conceptos de todos los sistemas en una arquitectura convergente.

Para poder trabajar en las problemáticas de cada sistema, se consideró a cada uno de los sistemas como una caja negra donde solo se proponen las entradas y las salidas; el funcionamiento de la caja carece de importancia en este momento.



Figura 4.1: El sistema UMSU se puede apreciar como una caja negra donde el equipo de desarrollo expresa todas las entradas y salidas del sistema.

I.1. Conceptos del sistema mecánico

La primera problemática que se afrontó, fue la del sistema mecánico [Ver fig. 4.2]. Las entradas que se identifican para este sistema corresponden: al movimiento de un punto a otro de la estructura completa, el aire que enfriará al motor y servirá también para hacer la combustión, la gasolina, el mismo motor y los módulos que de acuerdo a las especificaciones del producto, se deben ir agregando conforme se extiendan las ambiciones del proyecto. Con base en las especificaciones del producto; el motor debe ser sujetado firmemente y a la vez permitir absorber la energía cinética que pudiera transferirse a la estructura; los gases son producto de la combustión; el calor proviene de la radiación de la combustión como del aire que estuvo en contacto con el motor, y por último el ruido que se generará mientras el motor está en funcionamiento, son las salidas que el equipo de desarrollo propuso para el sistema. Una vez que se determinan y presentan las entradas y salidas de la caja negra, es momento de que el equipo planteé los obstáculos que tiene el sistema para poder convertir las entradas en salidas. Dado que los problemas de cada sistema pueden ser complejos para plantearse y resolverse, es aconsejable dividirlos en subproblemas o subfunciones, mismas que son más fáciles de trabajar independientemente.

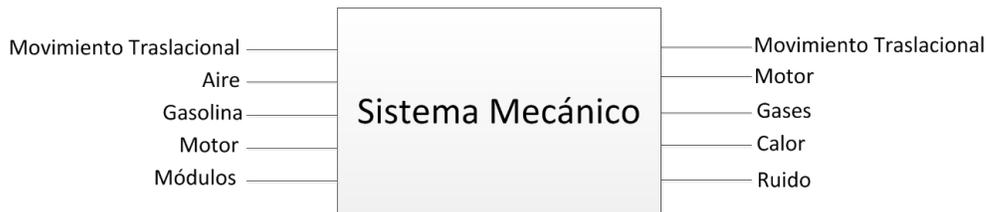


Figura 4.2: El sistema mecánico se considera también una caja negra con entradas y salidas que a su vez incluye otros subproblemas.

Como se puede ver en la figura 4.3, el sistema mecánico se puede dividir en trece subproblemas, constituyendo estos la integración de funciones que compone la caja negra, para los cuales pueden existir una infinidad de caminos para resolverlos, y es el reto del equipo de desarrollo exponer de todo el universo de posibilidades las más viables para considerarse como soluciones del problema. En la búsqueda de posibles soluciones a los subproblemas, el equipo de desarrollo identificó varias

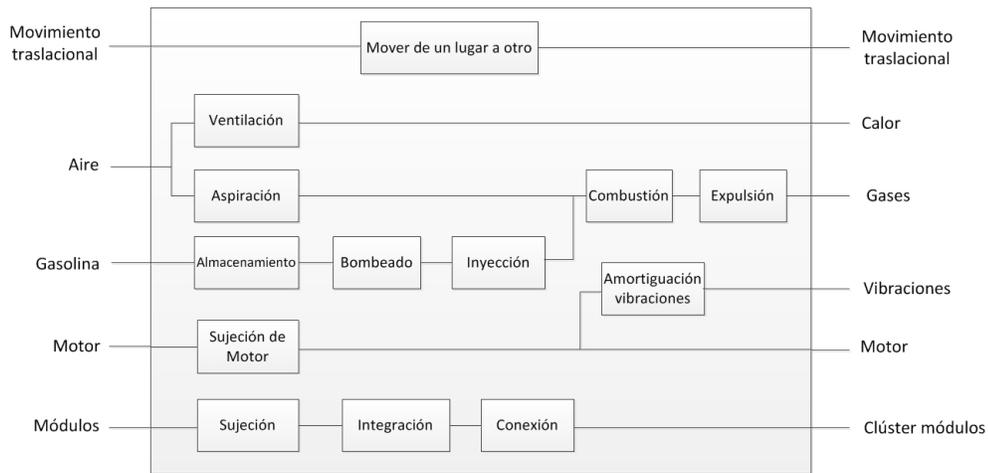


Figura 4.3: Subproblemas del sistema mecánico, juntos constituyen la problemática total del sistema mecánico.

fuentes de información, donde se encontraron ideas para solucionar problemas iguales, semejantes o completamente distintos pero que se pueden adaptar para solucionar los propios del sistema mecánico.

Para empezar a explorar el universo de las soluciones para los problemas, el equipo de desarrollo convino en que se debe: generar muchas ideas, prácticamente cualquier idea que surja debe tomarse en cuenta; suspender el juicio y prohibir la evaluación de las ideas por muy inverosímiles que estas parezcan, esto quiere decir, que el equipo de desarrollo no debe desechar una solución sin antes plantearla haciendo un esfuerzo por imaginar cómo resolvería ésta el problema; sugerir mejoras para todas las ideas planteadas, realizando el ejercicio de cómo estas mejoras podrían ayudar a solucionar la problemática de una manera más efectiva. Con estos criterios y la sinergia de búsquedas en bases de datos de patentes, libros y revistas publicadas, comparaciones de los productos de la competencia, entrevistas a usuarios líderes, consultas a expertos en la materia, conocimientos individuales de los miembros del equipo, en incluso la observación de la propia naturaleza, es el camino que permite encontrar un gran número de posibles soluciones para los problemas.

I.2. Árbol de soluciones

Siguiendo los criterios anteriores se crea un árbol de soluciones para cada una de las subproblemáticas que permite al equipo de desarrollo: identificar en qué soluciones se ha puesto más empeño, son las que presentan ramas, cuáles se tiene que desarrollar o profundizar más, y cuáles por su complejidad no son convenientes.

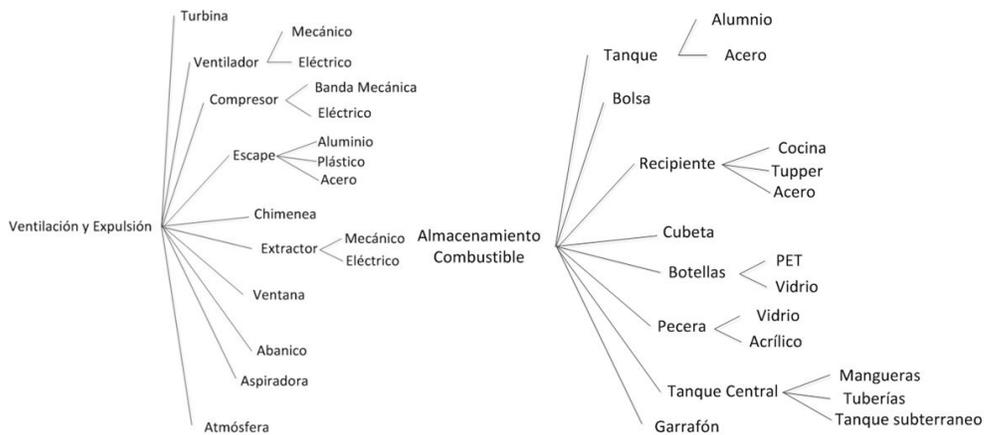


Figura 4.4: Ejemplo de los árboles con las posibles soluciones para las problemáticas, de ventilación y expulsión, y almacenamiento de combustible. Apéndice D.

En la figura 4.4 se muestran los árboles de solución para las problemáticas de ventilación y expulsión, y almacenamiento de combustible, donde se puede ver que hay varias soluciones, sin embargo de acuerdo a las experiencias de los miembros del equipo y las fuentes externas, se trabajó mayormente en las soluciones que proponen ventiladores, compresores, escapes o extractores para la problemática de Ventilación y expulsión. Y tanque, recipiente, botellas, pecera y Tanque central para el almacenamiento de combustible. Homólogamente se realizaron árboles de soluciones para todas las problemáticas de los sistemas [ver Apéndice D].

Al estudiar los árboles de soluciones con profundidad, el equipo de desarrollo discute sobre cada una de las posibles soluciones para seleccionar cuáles son las que vale la pena continuar desarrollando, tomando en cuenta su factibilidad tecnológica, costo y complejidad, y cuales se pueden desechar sin temor a estar perdiendo una característica innovadora clave para el éxito . Esto crea automáticamente una lista de

aproximadamente tres soluciones que el equipo de desarrollo confía en que se pueden llevar a cabo por cada una de las subproblemáticas.

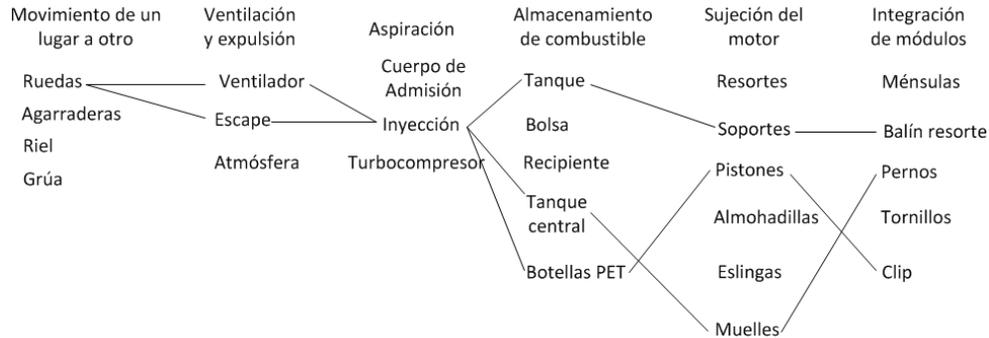


Figura 4.5: Tabla donde se muestran todas las posibles soluciones que el equipo de desarrollo consideró factibles, se hacen combinaciones para seleccionar de 3 a 5 conceptos.

Una tabla de combinaciones [Tabla 4.5] le permite al equipo de desarrollo relacionar cada una de las soluciones de las subproblemáticas con las otras, al ser independientes entre sí se crean combinaciones que resuelven cómo el sistema convertirá las entradas en salidas y se pueden llevar a un modelo o bosquejo del producto [Tabla 4.1]; este proceso es la generación del concepto. Realizando las acciones anteriores con nuevas combinaciones el equipo crea alrededor de tres conceptos distintos de los cuales solo uno es seleccionado para integrarse con los otros sistemas del UMSU y definirán así las características del mismo.

Conceptos a realizar como resultado de la tabla de combinaciones

Concepto A: Ruedas-Ventilador-Inyección-Tanque-Soportes-Mecanismo balín y resorte

Concepto B: Ruedas-Ventilador-Inyección-Conexión a tanque central-Muelles-Pernos

Concepto C: Ruedas-Ventilador-Inyección-Botellas PET-Pistones-Clip

Tabla 4.1: Se muestran los tres conceptos resultantes de la tabla de combinaciones para el sistema mecánico, los cuales son llevados a bosquejos, ver Apéndice E.

I.3. Conceptos del sistema eléctrico

Al tener definidos los conceptos del sistema Mecánico el equipo de desarrollo se enfrenta al segundo sistema, el sistema eléctrico. Como se mencionó anteriormente este sistema consolida la alimentación, transformación y generación de energía eléctrica. Con esta definición se proponen las entradas y salidas del sistema como se muestra en la figura 4.6. Como entradas se pueden encontrar, la energía que alimentará el sistema integro, los movimientos de los elementos mecánicos que generan energía, las señales eléctricas del sistema de control y los módulos que permiten al sistema eléctrico extenderse en funcionalidad en caso de ser necesario. Para las salidas se plantea el calor de los elementos, las mediciones de los instrumentos, la energía eléctrica de los elementos, la chispa que permitirá hacer la combustión, el movimiento de los sistemas electromecánicos, así como los actuadores lineales y la marcha.

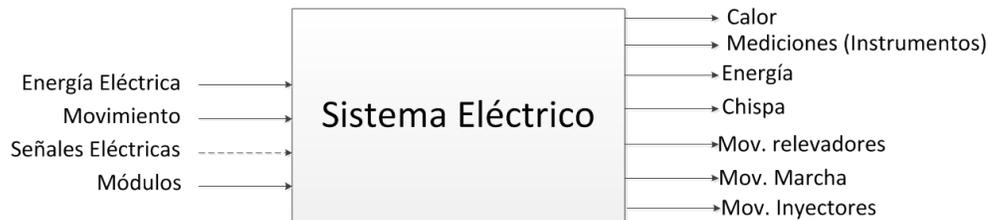


Figura 4.6: El sistema eléctrico se define como una caja negra con entradas y salidas.

Siguiendo el mismo procedimiento de clasificación del sistema mecánico, el sistema eléctrico se subdivide en funciones o subproblemas [Fig. 4.7].

Los subproblemas son estudiados y planteados de forma independiente para buscar todas las soluciones posibles sin importar qué tan absurda pueda sonar la solución.

Al encontrarse con el árbol de soluciones, como el ejemplo de la figura 4.8, el equipo selecciona las ideas más relevantes y las más factibles. Por ejemplo, aunque la energía nuclear se puede llevar a cabo para alimentar el sistema, esta representaría unos costos fuera de las posibilidades del proyecto así como una amenaza inminente a la seguridad de los alumnos, por esta razón el equipo de desarrollo decide no tomarla en cuenta. De la misma forma el equipo considera a los transistores y los elementos

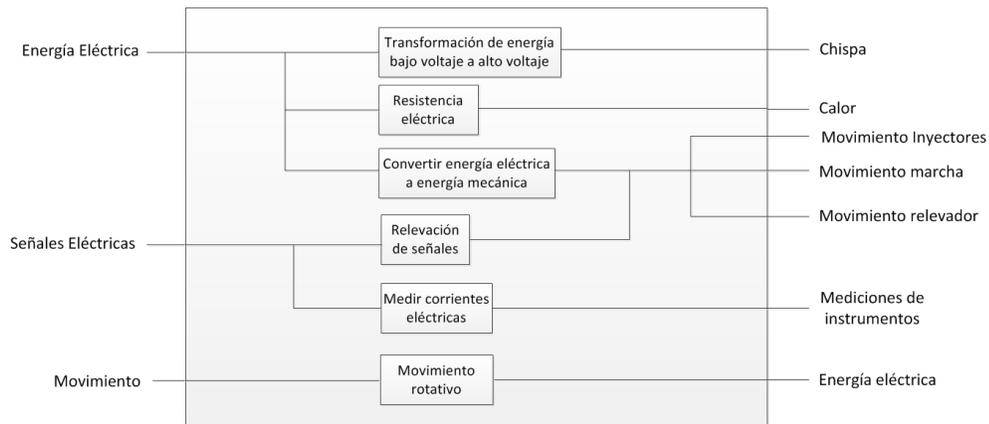


Figura 4.7: Definición de seis subproblemas en el sistema eléctrico.

electromecánicos como ideales para lograr una rápida conmutación de las señales eléctricas. El proceso de selección de las siguientes soluciones se llevó a cabo por el equipo de desarrollo con base primordialmente en el costo y la sencillez en el diseño, sin embargo al igual que en el sistema mecánico hubo una combinación de soluciones que podrían en un momento dado resolver el sistema eléctrico [Fig. 4.3].

Conceptos a realizar como resultado del estudio de los árboles de soluciones

Concepto A: Batería-Relevadores-Fusibles

Concepto B: Batería-MOSFET-*KillSwitch*

Concepto C: Batería-Relevadores-*DeadmanSwitch*

Tabla 4.2: Se muestran las tres combinaciones resultantes para el sistema eléctrico.

I.4. Conceptos del sistema de control

Homólogo a los sistemas anteriores, el sistema de control y el de usuario se resuelven con mayor facilidad debido a que cuentan con menores subproblemas para resolver el sistema, sin embargo el reto del sistema de control consiste en encontrar un código de programación que permita los comandos necesarios para hacer funcionar el motor y que al mismo tiempo muestre al usuario el monitoreo de las mediciones que los sensores perciban.

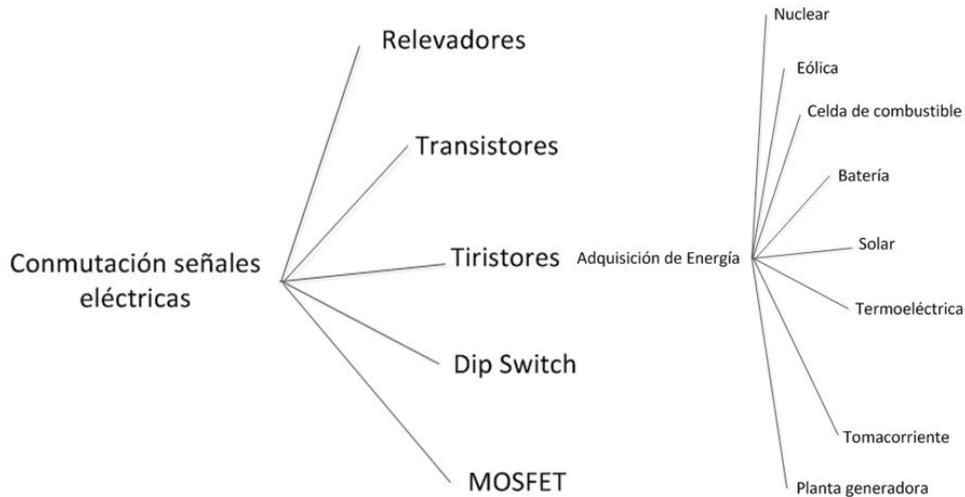


Figura 4.8: Ejemplo de árboles con las posibles soluciones para la problemática de conmutación de señales, y adquisición de energía. Apéndice D.

De acuerdo a las especificaciones del producto, el sistema de control se concibe como una caja negra donde las entradas consisten en la energía eléctrica que puede venir de la misma del sistema eléctrico o de una fuente externa, los comandos o instrucciones que el operador ingrese al sistema, las señales de los sensores analógicos o digitales y los módulos que el mismo sistema pueda adquirir para la ampliación de funciones del mismo. Las salidas consisten en las señales digitales y analógicas de control, dependiendo sea el caso, y la interfaz gráfica de operación y visualización de instrumentos [Fig. 4.9]. Posteriormente se revisa los subproblemas que se presentan en este sistema y se genera un árbol de soluciones para cada uno de ellos [Fig. 4.11]. Si bien el sistema de control también se puede subdividir en problemas menores es muy importante que las interconexiones de cada solución funcionen correctamente y se definan adecuadamente, porque a diferencia del sistema mecánico o eléctrico, un error de diseño en alguno de los soluciones podría ocasionar el colapso de todo el sistema.

El sistema de usuario se presenta como un planteamiento de las especificaciones que implican la entera relación con el usuario, es decir, de dichas especificaciones que de no ser cumplidas por parte o a favor del usuario, el UMSU se alejaría de satisfacer

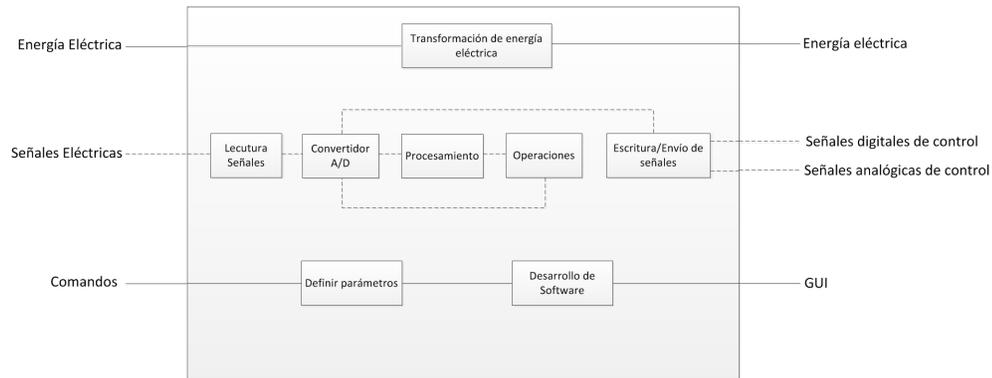


Figura 4.9: El sistema de control se puede representar como una caja negra con ocho subproblemas.

las necesidades del mercado. Si bien se observa que estas problemáticas no están relacionadas entre sí [Fig. 4.10], es porque el planeamiento de este sistema se llevó a cabo siguiendo las necesidades de los usuarios y son problemas relacionados a la correcta manipulación del UMSU, más que al diseño del mismo. En éstas se pueden identificar, el acceso a una computadora por parte del operador, la capacitación que el mismo usuario requiere para operar de manera correcta, y la seguridad necesaria por parte del alumno para acercarse o manipular cualquier elemento de la plataforma, entre otras.

Al definir las posibles decisiones acerca de cómo solucionar el sistema de control, el equipo de desarrollo descubrió que sería más sencillo adaptarse a una herramienta que le permitiera cubrir la mayoría de las soluciones en una sola arquitectura, evitando el tener que mezclar tecnologías y lenguajes de programación de distintos fabricantes. A pesar de poder existir varias iteraciones en el sistema de control es importante tomar en cuenta que debido a la complejidad del proyecto, la solución que se repite para más de una problemática puede traer numerosos beneficios al equipo al momento de integrar todas las soluciones y resolver el sistema de control [Tabla 4.3].

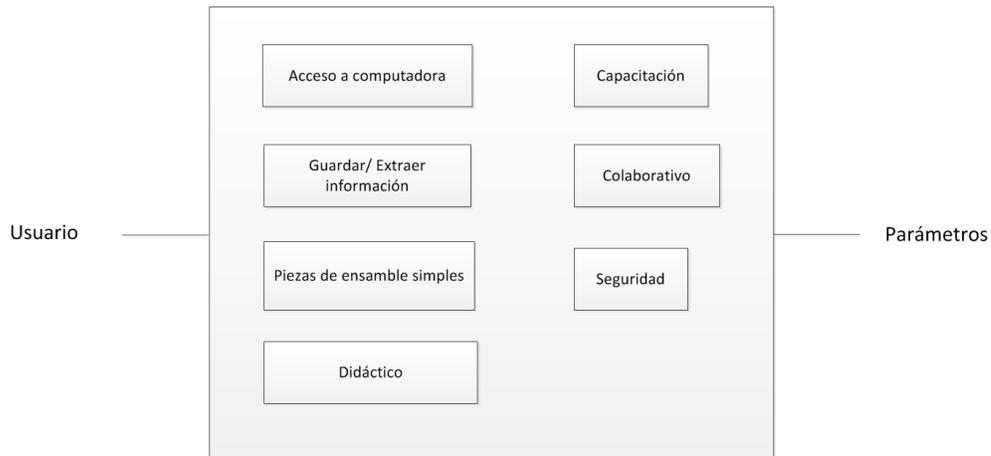


Figura 4.10: El sistema de usuario surge a raíz de las problemáticas que no se pueden resolver con el sistema mecánico o de control.

Conceptos a realizar como resultado de la tabla de combinaciones

- Concepto A: Arduino - C++ - Arduino - Matlab - Disco duro interno
 - Concepto B: PIC - C++ - PIC - C++ - flash USB
 - Concepto C: Labview - Labview - cRio - Labview - Servidor Central
 - Concepto D: Labview - Labview - cRio - Labview - Flash USB
 - Concepto C: Labview - C++ - Arduino - Labview - Bitacora papel
-

Tabla 4.3: Los conceptos para el sistema de control se generan a raíz de los árboles de soluciones. Apéndice D.

En los árboles de soluciones del usuario, se encontró que al ser las soluciones a las problemáticas completamente independientes, se pueden trabajar en dos soluciones al mismo tiempo para robustecer el diseño en este sistema [Fig. 4.12]. En la figura 4.12 se muestra el problema de la capacitación con las posibles soluciones a convenir, sin embargo está claro que los cursos presenciales son completamente independientes a los *webinars* o al manual de usuario dejando la certeza de que una solución no interfiere con las otras y se puede elegir varias soluciones para llevarse a cabo, siempre y cuando los costes de ejercer más de una solución no sobrepasen los límites del proyecto.

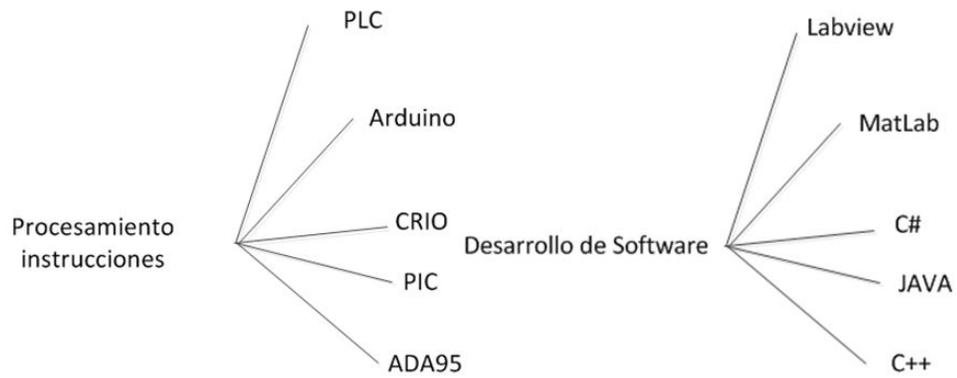


Figura 4.11: En los ejemplos de árboles de soluciones para el sistema de control se pueden ver las problemáticas de Procesamiento de instrucciones y Desarrollo de Software. Apéndice D

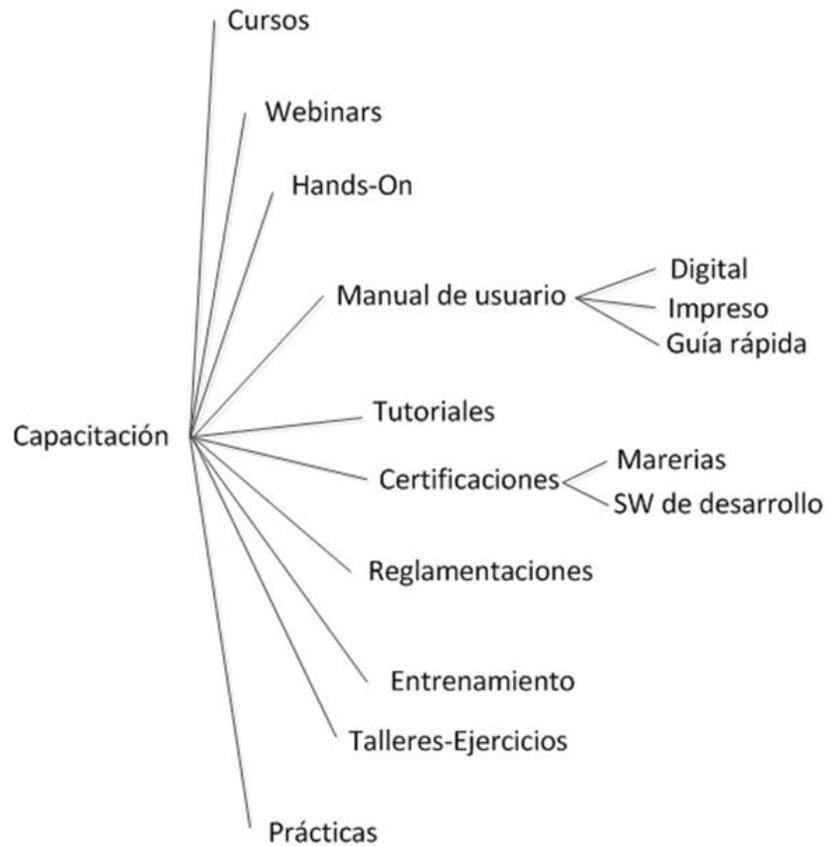


Figura 4.12: Para el sistema de usuario se propusieron varias soluciones que se pueden llevar a cabo para resolver la capacitación. Apéndice D.

II. Selección del concepto

Como se vio en la generación del concepto, el equipo de diseño generó varias ideas y combinaciones de soluciones que cumplen nominalmente con las necesidades de los usuarios finales, sin embargo dichos conceptos aún son muy abstractos por lo que tomar una decisión sobre cuál es el mejor de todos puede ser un proceso difícil y largo si no se tiene las herramientas adecuadas. Cada uno de los conceptos propuestos por el equipo de diseño cumple de una u otra manera con las necesidades del cliente a través de distintas soluciones y combinaciones, no obstante si se tienen en cuenta distintas consideraciones para su comercialización sólo uno o dos de ellos representa una solución viable para el desarrollo del proyecto, por lo que una metodología de selección de concepto es necesaria.

Realizar la selección del concepto de manera metódica, permite que el equipo de desarrollo simplifique el número de conceptos propuestos a una idea que cumpla con todos los criterios especificados, ya que muchas veces se torna en un proceso crítico e incluso emocional. Como resultado de la sección de Aclaración del problema y propuesta de soluciones, se generaron tres conceptos para cada sistema del UMSU. Dichos sistemas son: sistema mecánico, sistema eléctrico, sistema electrónico y sistema del usuario.

Aun cuando los conceptos satisfacen nominalmente las necesidades de los usuarios finales, para seleccionar el concepto que mejor se adecúe a los recursos y alcances del equipo de diseño, el primer paso consiste en resumir en no más de 10 criterios lo que es más importante que el producto cumpla y seleccionar el más adecuado con base en qué tan bien cumple cada concepto con cada criterio.

Consiguiente a lo mencionado anteriormente se seleccionaron 10 criterios que se consideraron importantes y críticos para la selección del concepto final del sistema mecánico del UMSU.

Criterios de selección del sistema mecánico

- Número de piezas
- Facilidad de manufactura
- Movilidad
- Se pueden añadir módulos
- Accesibilidad
- Universalidad
- Costo
- Reemplazo de batería
- Capacidad de almacenamiento de combustible
- Amortiguación de vibraciones
- Enfriamiento

Tabla 4.4: Criterios definidos para hacer la selección de los conceptos del sistema mecánico.

Para el sistema eléctrico se generaron los siguientes criterios:

Criterios de selección del sistema eléctrico
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo de componentes eléctricos ▪ Facilidad de reemplazo de componentes ▪ Disponibilidad en el mercado ▪ Sencillez de funcionamiento ▪ Consumo de energía

Tabla 4.5: Criterios definidos para hacer la selección de los conceptos del sistema eléctrico.

Para el sistema de control:

Criterios de selección del sistema de control	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo unitario ▪ Velocidad de procesamiento ▪ Capacidad de procesamiento ▪ Aplicaciones en tiempo real ▪ Número de entradas y salidas de control 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilidad ▪ Compatibilidad con software de desarrollo ▪ Popularidad del ambiente de desarrollo ▪ Tamaño ▪ Fuente de alimentación ▪ Interfaz gráfica

Tabla 4.6: Criterios definidos para hacer la selección de los conceptos del sistema de control.

Para el sistema del usuario no es necesaria la selección de un concepto en específico, ya que todos y cada uno de ellos son importantes en el desarrollo del producto final, y porque la naturaleza de las soluciones de este sistema permite integrar varias soluciones simultáneamente.

Aunque el costo de manufactura no es una necesidad que atañe al cliente, es un factor extremadamente importante que debe ser tomado en cuenta en todos los sistemas del UMSU ya que el éxito del producto depende en gran parte del atractivo del precio de venta que se asigne al producto. De igual manera, criterios tan subjetivos como calificar el aspecto estético del producto deben ser realizados por clientes representativos y no basados en la opinión de subjetiva del personal de desarrollo.

De cada sistema se generaron N conceptos, de los cuáles se debe obtener, después de aplicar la metodología, la selección de a lo mucho dos de ellos. Si bien este paso del diseño es un proceso convergente, en ocasiones es necesario hacer varias iteraciones para lograr un concepto dominante.

El proceso de selección que se utilizó en el desarrollo del UMSU consta de dos etapas: el filtrado de conceptos y la evaluación de conceptos; dependiendo del grado de dificultad del proyecto, es posible acotar la selección usando sólo el filtrado de conceptos. En el caso del UMSU, al ser sólo 3 conceptos por sistemas, es posible tener un resultado fiable a través de la aplicación de la primera etapa. Para realizar el filtrado se usa una herramienta muy útil llamada matriz de selección, como se muestra en la tabla de ejemplo 4.7, cuyo objetivo es medir, clasificar y seleccionar el concepto más adecuado de manera sistemática [26]. A continuación se explica su funcionamiento y su aplicación en el desarrollo del UMSU.

En las filas de la matriz se colocan los criterios establecidos por el equipo, y en las columnas se colocan los conceptos que se evalúan [Figs. 4.1, 4.3 y 4.3]. Para que la selección sea un proceso sencillo y paralelo, es importante que todos los conceptos tengan el mismo grado de detalle, que todos contemplen las mismas funciones pero con una solución diferente; y que los conceptos sean lo más objetivos posibles, por ejemplo el número de piezas del ensamble, ya que así se mantiene la subjetividad del proceso de calificación.

Criterios de selección	Conceptos		
	A	B	C
Número de piezas			
Suma+			
Suma0			
Suma-			
Puntuación			
Rango			
¿Continúa?			

Tabla 4.7: Modelo de tabla para ejemplificar la selección de conceptos.

Posteriormente se procede a evaluar cada concepto con cada uno de los criterios con ayuda de sistema de símbolos, positivo, negativo o neutral. Para el concepto que mejor cumple criterio en cuestión se califica con un signo de “+”, para el que menos cumple, con un signo de “-” y para el que cumple parcialmente “0” [Tabla 4.8].

Si se califica individualmente cada concepto usando todos los criterios de selección, no existe una referencia para poder comparar los demás conceptos del sistema entre sí. Es por esta razón que se recomienda calificar todos los conceptos al mismo tiempo usando un solo criterio a la vez, ya que de esta manera se puede hacer la ponderación entre conceptos de cada sistema.

Una vez que se evalúa cada concepto, se hace una sumatoria de evaluaciones “+”, “0” y “-” en la parte inferior de la matriz con lo cual se obtiene un número neto de puntos por cada concepto. Existen criterios que, después de la primera iteración, son identificados como altamente decisivos en la selección del concepto, y es importante prestar atención sobre su influencia en iteraciones posteriores.

Criterios de selección	Conceptos del sistema mecánico		
	A	B	C
Número de piezas	0	0	+
Facilidad de manufactura	0	-	+
Se pueden añadir módulos	0	0	+
Movilidad	+	+	+
Accesibilidad	+	+	+
Universalidad	+	+	+
Facilidad de carga de combustible	0	+	0
Reemplazo de batería	0	0	0
Capacidad de combustible	+	-	0
Costo	0	-	+
Amortiguación de vibraciones	-	+	0
Enfriamiento	+	+	+
Suma+	5	6	8
Suma0	6	3	4
Suma-	1	3	0
Puntuación	4	3	8
Rango	2	3	1
¿Continúa?	NO	NO	SI

Tabla 4.8: Resultados de la tabla de selección de conceptos elegidos previamente para el sistema mecánico.

Finalmente, del sistema mecánico se seleccionó un solo concepto: el concepto C [Tabla 4.1]. Sin embargo hay características del concepto B que pueden ser integradas al diseño final por lo que se realizó una combinación de conceptos. No obstante, el concepto final va a depender no sólo de la matriz de selección, sino también de los recursos, el personal y el tiempo del que dispone el equipo de diseño.

Aunque no siempre sucede, en ocasiones se logra la obtención de más de un concepto predominante. En estos casos, generalmente, dos conceptos son evaluados con una puntuación muy pareja, por lo que es necesario hacer una segunda iteración, o bien hacer una combinación de conceptos, que mezcle las fortalezas de los dos conceptos más sobresalientes, para formar uno solo que cumpla al cien por ciento con los criterios de selección. Es importante que absolutamente todo el equipo de

diseño se sienta cómodo con el resultado, ya que de no ser así, existen discrepancias dentro del equipo causadas por la mala calificación de un criterio.

Si se considera necesario, es posible realizar un análisis más detallado de la selección del concepto a través de una evaluación de conceptos. Este análisis es similar al filtrado de concepto, ya que se usa la misma matriz de decisión, sin embargo se le asigna a cada criterio de selección un peso determinado, que permite resaltar su importancia relativa a todo el concepto en sí.

Criterios de selección	Conceptos del sistema eléctrico		
	A	B	C
Costo de componentes eléctricos	+	0	-
Facilidad de reemplazo de componentes	+	+	0
Disponibilidad en el mercado	+	0	-
Sencillez de funcionamiento	-	+	0
Consumo de energía	-	+	+
Suma+	3	3	1
Suma0	0	2	2
Suma-	2	0	1
Puntuación	1	3	0
Rango	2	1	3
¿Continúa?	SI	SI	NO

Tabla 4.9: Resultados de la tabla de selección de conceptos elegidos por el equipo previamente para el sistema eléctrico.

De la matriz 4.9, surgen dos conceptos predominantes, el A y el B [Tabla 4.3], sin embargo ninguno de los dos cumple al cien por ciento con todos los criterios de selección. Buscar un concepto nuevo que cumpla con todos los criterios es difícil y alargaría el proceso de selección, de esta manera, la solución es juntar las fortalezas de ambas opciones para generar un solo concepto que garantice el mejor diseño. En este caso al concepto B, que es el más viable utiliza componentes cuya disponibilidad y costo están limitados; en cambio en el concepto A ambos criterios están mejor calificados y se pueden combinar para arrojar un concepto final.

Criterios de selección	Conceptos del sistema de control				
	A	B	C	D	E
Costo unitario	0	+	-	-	0
Velocidad de procesamiento	0	0	+	+	0
Capacidad de procesamiento	0	0	+	+	0
Aplicaciones en tiempo real	-	-	+	+	-
Número de entradas y salidas de control	-	+	+	+	-
Disponibilidad	+	+	0	0	+
Compatibilidad otros software	+	0	0	0	0
Compatibilidad del ambiente desarrollo	+	0	+	+	-
Tamaño	+	+	0	0	+
Suma+	4	4	5	5	1
Suma0	3	4	3	4	4
Suma-	2	1	2	1	3
Puntuación	2	3	4	4	-2
Rango	3	2	1	1	4
¿Continúa?	NO	NO	SI	SI	NO

Tabla 4.10: Resultados de la tabla de selección de conceptos elegidos por el equipo previamente para el sistema de control.

De la matriz del sistema de control [Tabla 4.10] se obtuvieron dos conceptos predominantes, el concepto C y el concepto D [Tabla 4.3]. Aunque ambos obtuvieron la misma puntuación, la manera de seleccionar el concepto final fue a través de las características del concepto, específicamente, el costo de la forma de almacenar información, ya que uno lo hace a través de un servidor central y el otro a través de una memoria flash. El servidor central es una opción más cara por lo que el equipo de diseño decidió utilizar el concepto C.

Finalmente, en el sistema de usuario cada uno de los subproblemas considerados consta de árboles de conceptos con distintas soluciones que resuelven características específicas del UMSU [Apéndice D]. Sin embargo, las soluciones en los árboles de conceptos son independientes entre sí y el escoger una de ellas sesgaría la elección de otras que son de igual importancia. Por lo tanto en este sistema es válido prescindir de una matriz de selección.

En resumen, de los procesos de selección arriba mencionados se eligió el concepto predominante para cada sistema:

Conceptos ganadores tras el proceso de selección			
Concepto	Sistema mecánico A	Sistema eléctrico B	Sistema de control C

Tabla 4.11: Resultado de utilizar la selección de conceptos, se puede ver que se selecciona un concepto para cada sistema.

Con un concepto claro por sistema y seleccionado metódicamente, se comienza la arquitectura de cada sistema del UMSU a través de herramientas de diseño y simulación. Cada sistema se desarrolla de manera independiente, ya que al final, todos los sistemas deben ser integrados en un solo producto que tendrá interacciones entre las funciones de sus diferentes sistemas.

Capítulo 5

Arquitectura del UMSU

Gracias a la selección del concepto fue posible determinar con precisión sobre qué actividades concentrar todo el esfuerzo del equipo de desarrollo para obtener un proyecto competitivo. Es momento de que el equipo de desarrollo encuentre una solución para resolver las problemáticas que se han venido presentando a lo largo del proceso de diseño. Gran parte de esta solución consiste en comprender las interfaces que harán posible la conexión entre los distintos sistemas para hacer de todas las soluciones una solución integral y sentar la estructura sobre la que se realiza la construcción del UMSU. Con ayuda de las especificaciones y los bosquejos [Apéndice E] realizados el equipo puede plasmar perfectamente los trazos de la plataforma de pruebas sin temer a que estos infrinjan las correlaciones que existen entre los objetivos del proyecto y las limitantes económicas o tecnológicas, pues al haber estudiado desde todos los ángulos, el mercado, las tecnologías, los productos del mercado y otros factores, el equipo de desarrollo cuenta con las herramientas suficientes para establecer la arquitectura del UMSU.

La arquitectura del producto consiste en asignar los elementos funcionales del proyecto a los bloques que constituyen las distintas entidades físicas que conforman en su totalidad al UMSU, visto de otra forma, es asignar las acciones que tienen cada uno de los elementos físicos con los que está construido el UMSU. Al construir los elementos físicos del producto en términos de sus funciones, el equipo de desarrollo planea la asignación del desarrollo de cada uno de estos elementos a una parte distinta

dentro del equipo, o a gente externa que no esté muy relacionada con el proyecto pero que tenga los conocimientos sobre las tecnologías necesarias para desarrollar el elemento funcional, permitiendo que al separar el desarrollo del producto en varios grupos, el diseño del mismo se lleve de manera simultánea sin tener dependencias entre las tareas de cada grupo de trabajo.

Durante el proceso de arquitectura del producto el equipo de desarrollo utiliza los conceptos de elementos funcionales que se pueden definir como las operaciones o transformaciones individuales que contribuyen al rendimiento del producto y los elementos físicos que son las partes que pondrán en práctica las funciones del producto [26]. Al empezar a identificar los elementos físicos que constituyen el UMSU se deben también relacionar con algún elemento funcional que a su vez sirve como interfaz entre los distintos elementos de la plataforma de pruebas.

De acuerdo a la información obtenida en los procesos anteriores de diseño, el equipo de desarrollo concuerda en adoptar una arquitectura modular para el sistema, donde se pueda gozar de la flexibilidad de hacer reformas o rediseños a cada uno de los módulos que conforman el UMSU, sin la necesidad de rediseñar o modificar los módulos adyacentes. Debido a que es de suma importancia identificar los módulos que comprenden la construcción del UMSU, el equipo debe esquematizar los elementos físicos y describir la relación que tienen los mismos con los elementos funcionales, así como agruparlos de forma conveniente para reducir el número de bloques que conforman el UMSU, pero sin perder la modularidad deseada. A esta agrupación de elementos físicos y funcionales que conforma un bloque mayor se le llamará fragmento, para efectos de referencia dentro del equipo.

Como se mencionó en capítulos anteriores, a consecuencia de la complejidad del proyecto, el equipo convino en dividir el UMSU en 4 subsistemas: el sistema mecánico, que se compone de la estructura física que le dará soporte al motor y a los elementos necesarios para su control y alimentación; el sistema eléctrico, que se encarga de suministrar la energía eléctrica a los elementos, conmutar las señales eléctricas para activar los actuadores y transformar la energía mecánica en energía eléctrica; el sistema de control, que como su nombre lo indica, interactúa con los sensores del motor y el usuario para mandar señales de control a los actuadores del motor y

hacerlo funcionar; y por último el sistema de usuario, que si bien no se asemeja en complejidad tecnológica a los otros tres sistemas, sí es un componente clave para el éxito del proyecto. Estos sistemas se vinieron trabajando independientemente para lograr que la forma en que se resuelve cada sistema no interfiera en la solución de los otros sistemas. Sin embargo, es el momento en que el equipo de desarrollo debe tomar en cuenta la interconexión entre los distintos sistemas para no pasar por alto alguna interacción fundamental entre los mismos. El esquema de la arquitectura del producto muestra las relaciones que tienen los elementos físicos con los elementos funcionales a través de interfaces.

I. Arquitectura del sistema mecánico

Como se puede ver en el esquema del sistema mecánico [Fig. 5.1], éste está representado por once elementos: cinco elementos físicos y seis elementos funcionales. Los elementos físicos permiten indicar al equipo lo que ya se tiene resuelto en términos de componentes físicos y los elementos funcionales detallan de manera sencilla lo que en su momento harán los elementos físicos, los conectores que relacionan las funciones se les conoce como interfaces y éstas deben de detallarse para entender cómo llevar a cabo las interacciones. Como se mencionó anteriormente, durante el desarrollo del proyecto se trabajaron los sistemas que componen el UMSU individualmente sin tomar en cuenta cómo iban a interactuar dichos sistemas entre sí, el momento de precisar dicha interacción se debe tomar en cuenta en este capítulo, esto permite que en caso de existir concesiones entre los sistemas el equipo de desarrolle las contemple a la hora de generar los primeros prototipos. En el mismo esquema también se pueden ver unas interfaces conectadas a nodos representados por letras mayúsculas, los nodos a su vez están conectados a otros elementos en los sistemas adyacentes, esto permite trabajar dividiendo los esquemas en sistemas, pero sin perder la noción de que están conectados.

Alrededor de los elementos físicos y funcionales se aprecia un recuadro con líneas punteadas que sirve como delimitador para agrupar los elementos de acuerdo a su naturaleza y al criterio del equipo de desarrollo. Estas agrupaciones llevan un

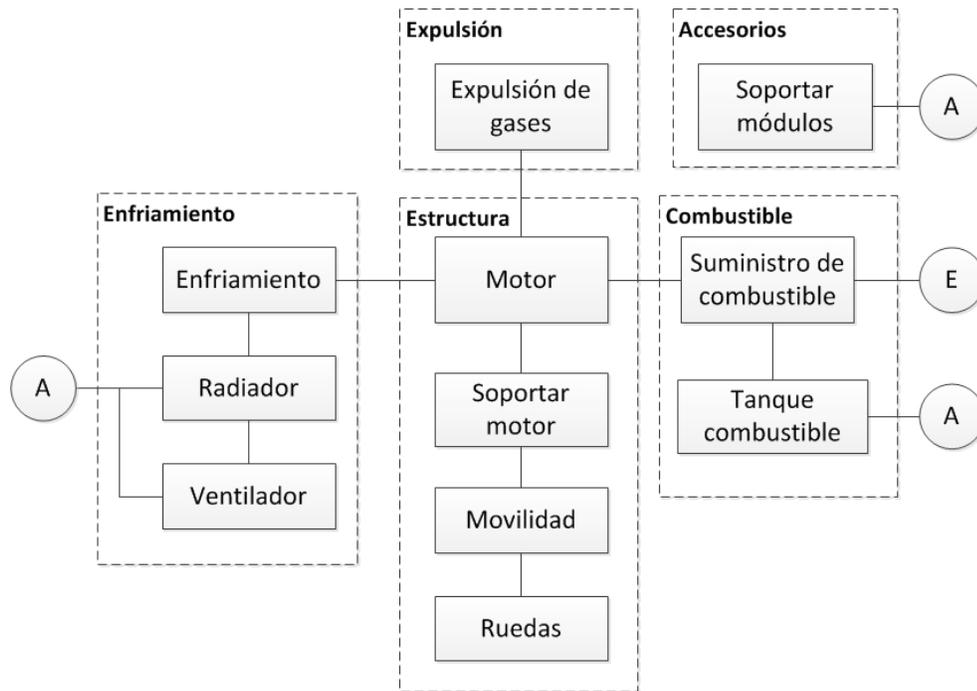


Figura 5.1: Esquema mecánico de los elementos físicos y funcionales relacionados por sus interfaces y particionado en fragmentos.

nombre independiente y son los fragmentos que definen si la arquitectura es modular o integral, recordando que una arquitectura modular es aquella que sus fragmentos están constituidos por uno o muy pocos elementos físicos y funcionales, y por el contrario una arquitectura integral contiene más de un elemento en su agrupación [26]. Las ventajas y desventajas de cada arquitectura dependen mucho de los objetivos del proyecto y es decisión del equipo de desarrollo, con base en su experiencia, el decidir si el UMSU será un producto diseñado en varios módulos o en un diseño integral. Para tomar la decisión sobre el tipo de arquitectura del producto, el equipo de desarrollo debe conocer el ambiente en el que se desempeña el proyecto y la evolución que tendrá el mismo durante el tiempo. Gracias al involucramiento que tuvo el equipo con en el mercado y todas las etapas de estudio que se llevaron a cabo antes de desarrollar la arquitectura, el equipo encontró que una de las necesidades del mercado es que el UMSU fuera modular, y pudiera irse modificando conforme el usuario tuviera nuevas necesidades, estas condiciones se acomodan mucho mejor a

una arquitectura modular que a una integral. En la arquitectura modular el equipo puede realizar modificaciones a cada uno de los fragmentos sin afectar en gran medida el diseño de otros fragmentos, no obstante el cuidado en esto es primordial, pues la interfaz también tiene información crítica para el diseño de los fragmentos.

Como se puede ver en el esquema 5.1, los fragmentos en los que se dividió el sistema mecánico están compuestos por: el fragmento de enfriamiento, que constituye el radiador y el ventilador así como la acción de enfriar el motor; el fragmento de expulsión que constituye la acción de expulsar los gases, el equipo no consideró ningún elemento físico en este fragmento dado que el diseño constitutivo de cada motor incluye un sistema de escape; el fragmento de estructura al estar integrado por varios elementos se asemeja más a una arquitectura integral, no obstante el equipo coincidió en agrupar todos los elementos relacionados a la sujeción del motor juntos; el fragmento de combustible, constituye la acción de suministrar combustible, así como el depósito donde el mismo es almacenado, elemento que de ser diseñado por el equipo podría adaptarse mejor a las necesidades del usuario; y no menos importante el fragmento de accesorios, mismo que permita añadir más módulos conforme se modifiquen las necesidades del usuario.

Recordando que la arquitectura del producto es la explicación de cómo los bloques físicos interactúan entre sí, es crítico que el equipo de desarrollo conozca y entienda las interfaces que conectan los fragmentos y cuáles de ellas podrían intercambiarse, en caso de convenir para un diseño más acorde a las necesidades, o cuales de ellas deben permanecer sin modificaciones debido a su importancia en el funcionamiento fundamental del UMSU, por ejemplo: el suministro de combustible podría desconectarse del motor y conectarse al fragmento de enfriamiento y posteriormente al motor, interpretándose así que el diseño propone que el combustible ingrese al motor con una temperatura menor, sin embargo esta acción no tendría mucho sentido e involucraría más interfaces y por lo tanto más concesiones físicas que resolver; pero es posible. En el caso contrario, no sería posible conectar el enfriamiento al suministro de combustible y posteriormente al motor dado que la criticidad de enfriar el motor exige que este fragmento esté en directa interacción con el motor. Una vez que el equipo de desarrollo argumentó la forma más óptima de realizar estas conexiones,

es preciso disponer de una representación geométrica de los elementos que permita detectar si existen intromisiones físicas entre los elementos y de ser así, buscar una forma de solucionarlas.

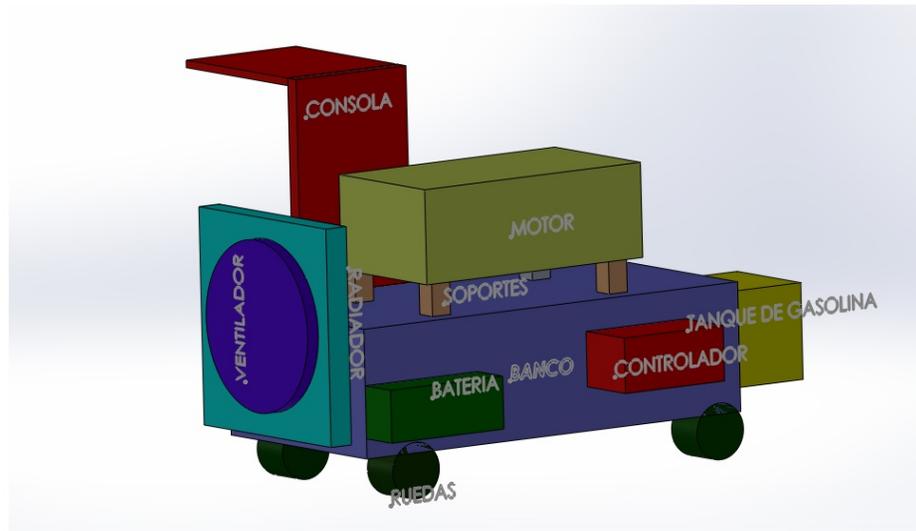


Figura 5.2: Geometría del sistema mecánico donde se muestran las interferencias geométricas que puedan existir entre los elementos físicos.

Después de varias iteraciones, el equipo de desarrollo encontró una distribución geométrica que permite la interacción física entre los elementos sin presentar obstáculos que impidan su correcto funcionamiento [Fig. 5.2]. La distribución geométrica también permite sospechar de otro tipo de interfaces que originan interacciones entre los elementos, pero de manera incidental y casi siempre no deseada. Estas interfaces se conocen como interferencias y solo se pueden descubrir conforme se vaya avanzando en el desarrollo del proyecto, un ejemplo claro de estas interferencias son las vibraciones que genera el motor, al tener una plataforma que se conecta al suelo a través de ruedas, es de esperarse que las vibraciones generen movimientos indeseados de la estructura completa, para solucionar esto el equipo de desarrollo sugiere amortiguar dichas vibraciones lo más posible en los elementos de soporte y a su vez instalar seguros en las ruedas que impidan su movimiento al accionarse. Una vez conocidas las interfaces fundamentales y las interferencias, el equipo puede generar el diseño por computadora de la estructura y en general del sistema Mecánico.

I.1. Generación del modelo mecánico

Siguiendo las líneas de la selección del concepto y de la arquitectura planteada, el equipo de desarrollo comenzó con el diseño de las piezas del UMSU. Para el desarrollo de los componentes se usó el programa de diseño asistido por computadora Solidworks, ya que permite el diseño de piezas de diferentes geometrías con comandos sencillos e intuitivos.

De acuerdo a la distribución geométrica propuesta, el fragmento que comprende la estructura del UMSU es el más crítico ya que alrededor de él se agregan los diferentes fragmentos del sistema mecánico necesarios para el funcionamiento del motor. Para que el motor pueda ser montado en dicha estructura se propone un sistema de 3 soportes: dos soportes laterales y uno en la parte inferior que soporte el cárter.

La estructura está construida con perfiles de acero que puedan formar fácilmente una estructura rectangular. Como se explicó en la generación del concepto, se propone un sistema de 3 brazos que soportan al motor. La estructura que sostiene los soportes del motor se mueve libremente sobre la trayectoria de los largueros; tanto la estructura de los soportes como los largueros están barrenados de tal manera que con un perno se puedan fijar y si se requiere se puedan cambiar de posición en función del tamaño del motor, cumpliendo así con la necesidad de universalidad.

La estructura está basada en un diseño que se puede construir fácilmente y en poco tiempo si así se requiere, ya que los procesos de manufactura para su construcción son sencillos y se pueden realizar en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería. Además, la disponibilidad de piezas y la instalación de una pieza de refacción permiten que la estructura del UMSU sea rápidamente reparada [Fig. 5.3].

Los motores de combustión interna tienen un peso aproximado de 250 lb, el cual varía de acuerdo al modelo y cilindrada del motor, por lo que la estructura debe ser lo suficientemente resistente para soportar su peso y el de los módulos alrededor de él [13]. En la figura 5.4 se muestra la propuesta para la estructura de soporte del motor del UMSU.

Asimismo, para la construcción del UMSU se requiere el diseño y el análisis

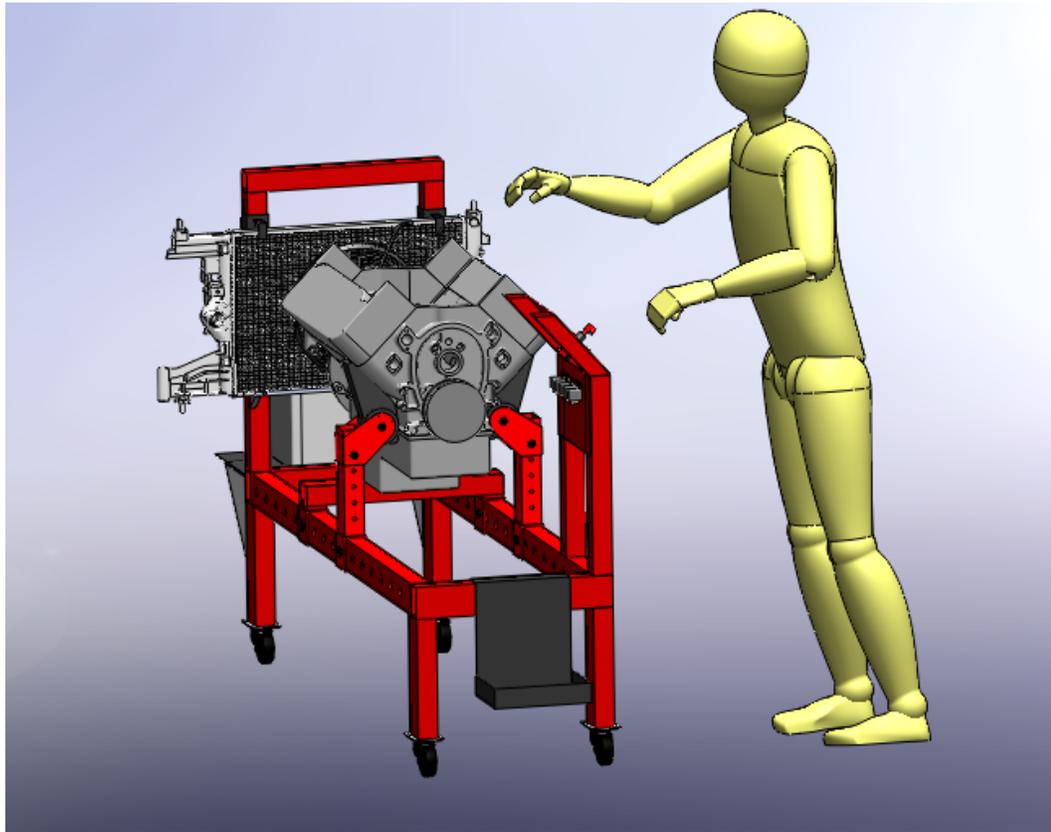


Figura 5.3: Vista frontal del *render* realizado con software CAD del UMSU integrado con los sistemas.

estructural de los módulos que soportan a los periféricos del motor. A continuación se anexa una tabla donde se indican los diferentes componentes del UMSU así como indicaciones de número de plano en el apéndice con medidas y tolerancias [Apéndice F].

Por otro lado, para determinar las dimensiones correcta de la estructura se usó un modelo humano que simula las dimensiones reales de una persona y un modelo aproximado del motor que se usará para las pruebas finales; de los componentes del motor solo se dibujaron las piezas más generales y que puedan causar alguna interferencia con el desarrollo del banco. De esta manera, el equipo de desarrollo modificó la altura de los módulos y el largo de la estructura para que el usuario final sea capaz de manipular los controles del motor cómodamente.

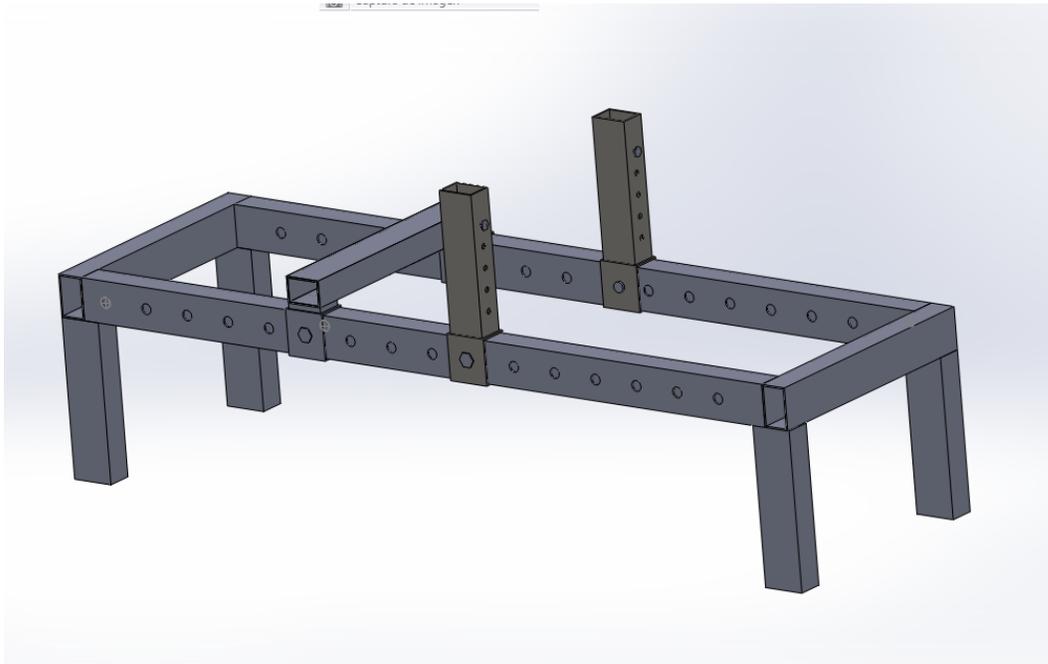


Figura 5.4: Dibujo en CAD del diseño de la estructura del banco.

Asimismo, para ayudar al diseño del banco se dibujó un modelo aproximado del motor que se usa para las pruebas finales. Del motor solo se dibujaron las piezas más generales que son importantes y que puedan causar alguna interferencia con el desarrollo del banco.

Debido a las cargas estructurales que el banco soporta, es necesario realizar un análisis de elemento finito para visualizar a través de una simulación que la estructura no esté sujeta a concentradores de esfuerzos que puedan debilitar el material y provocar una falla estructural. Para realizar la simulación estructural, se utiliza la herramienta complementaria de SOLIDWORKS, Abaqus.

Abaqus es una herramienta de validación de diseño que emplea el MEF en el análisis de tensiones para calcular los desplazamientos, las deformaciones unitarias y las tensiones en una pieza según el material, las restricciones y las cargas aplicadas.

Los programas basados en MEF formulan ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento de cada uno de los elementos teniendo en cuenta su conectividad con los demás elementos a través de nodos. Las ecuaciones matemáticas empleadas

definen los desplazamientos de cada uno de los nodos en las direcciones X,Y y Z en función de la carga, las restricciones de movimiento y las propiedades mecánicas del material empleado.

Es importante que el material para la simulación sea aquél que se usará para la manufactura del modelo final, por lo que es necesario saber exactamente qué materiales se encuentran disponibles en el mercado, su costo y sus propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas más importantes en una simulación son el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. El módulo de Young es la relación entre el esfuerzo y la deformación cuando esta es únicamente elástica; mientras que el coeficiente de Poisson es la relación negativa de las deformaciones laterales y axiales que resultan de aplicar un esfuerzo axial. En este caso el acero usado para las piezas del banco es acero bajo en carbono AISI-304 con un módulo de Young de 205 MPa y un módulo de Poisson de 0.29 [1].

Las cargas que se simulan son las más críticas, en este caso las del motor al ser el elemento más pesado en el sistema. Sin embargo, para hacer la simulación de las cargas se deben anclar los elementos que están fijos en el sistema, en este caso la estructura del motor, por lo que se añaden elementos de fijación en cada pilar del banco. [Fig. 5.5]

Posteriormente, se crea una malla de nodos la cual tiene que tener una resolución alta, ya que el análisis de elemento finito es un método numérico que permite generar soluciones más precisas mientras el número de nodos sea mayor [Fig. 5.6]. Una malla con cientos de nodos arroja un resultado muy pobre, por lo que se recomienda construir una malla de miles de nodos. Para escoger la resolución del análisis de la estructura, se elige un tamaño de semilla, el cual corresponde a la unidad más básica para generar una malla. Se eligió un tamaño de semilla de 20 que generó una malla de 40,000 nodos, suficientes para garantizar que el resultado del análisis tiene la resolución adecuada. El tipo de análisis hecho es a través del criterio de von Mises, el cual es usado en teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Se basa en la teoría de la energía de distorsión máxima, la cual describe como un material dúctil empieza a ceder cuando la tensión de von Mises supera el límite de tensión máxima [17].

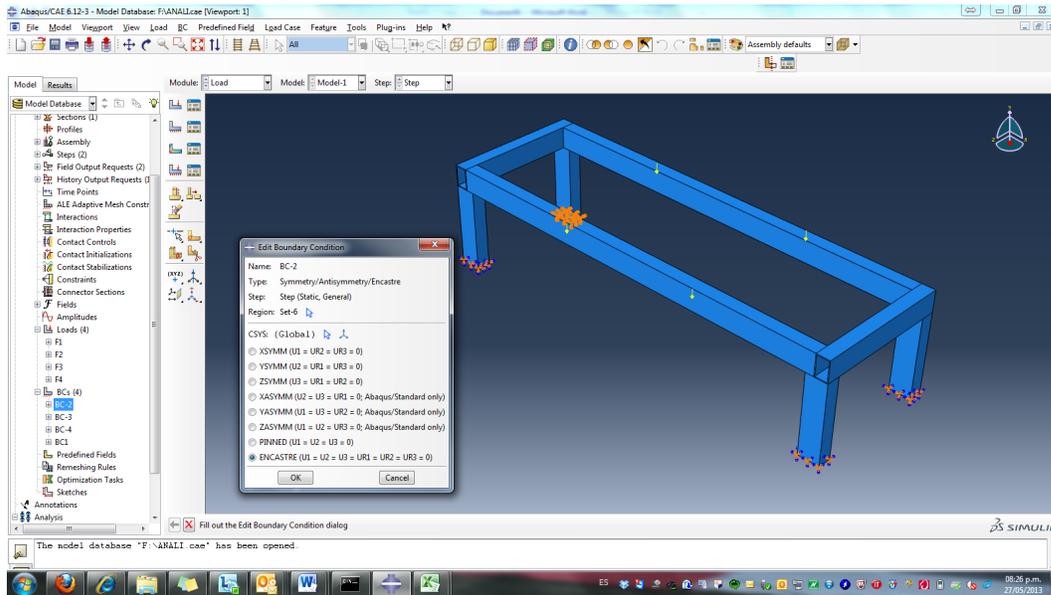


Figura 5.5: Puntos fijos en la estructura para el análisis de cargas.

El programa de CAD permite al usuario realizar una simulación que muestra las deformaciones que puede presentar la pieza y otra sin deformación que sólo muestre las zonas de máxima tensión en la pieza. El desplazamiento de cada uno de los nodos permite al programa calcular las deformaciones unitarias en las diferentes direcciones y las tensiones resultantes [Apéndice H]. Finalmente, el postprocesado representa el modelo tridimensional con una gama de colores que indican las tensiones y deformaciones sufridas bajo las condiciones de contorno definidas. De esta manera, el equipo de diseño puede saber en qué zonas la estructura es más propensa a tener una falla estructural. El peso del motor no es el único factor que puede afectar el rendimiento de la estructura del UMSU, también las vibraciones del motor en funcionamiento, sin embargo estas últimas son absorbidas a través de los soportes de fábrica del motor.

Si bien existen zonas de concentración de esfuerzos en el banco, el análisis muestra que la estructura soporta con seguridad el motor y que los valores de concentraciones de esfuerzos se mantienen dentro de un rango de valores de tolerancia [Fig. 5.7].

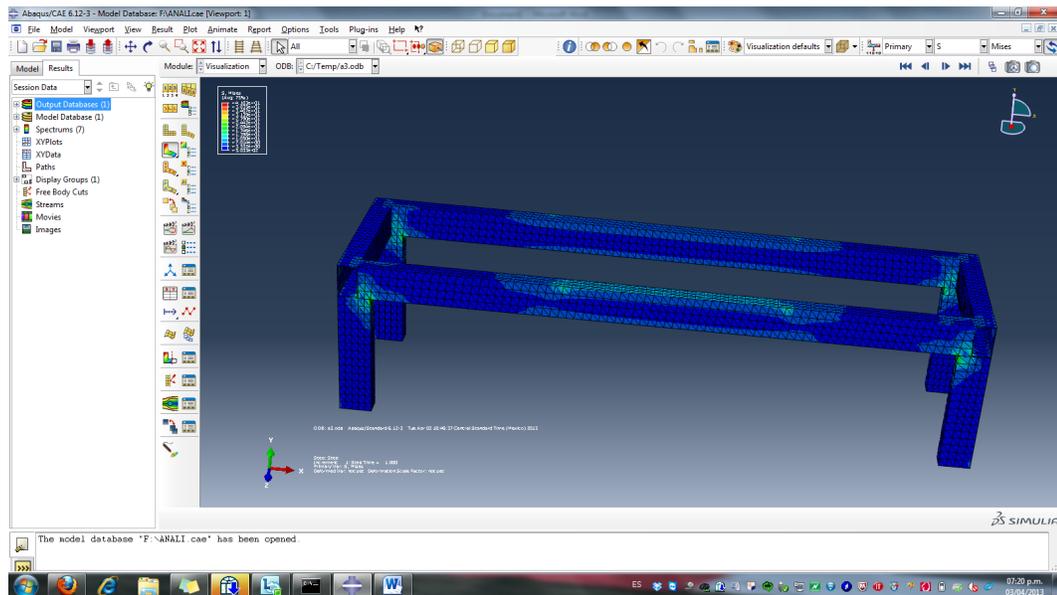


Figura 5.6: Mallado de la estructura con una resolución alta.

En la tabla 5.1 se muestran las piezas que constituyen el sistema mecánico del UMSU. El banco está ideado para ser construido con piezas sencillas como perfiles, soleras, placas de metal, y materiales a los que los alumnos tengan fácil acceso.

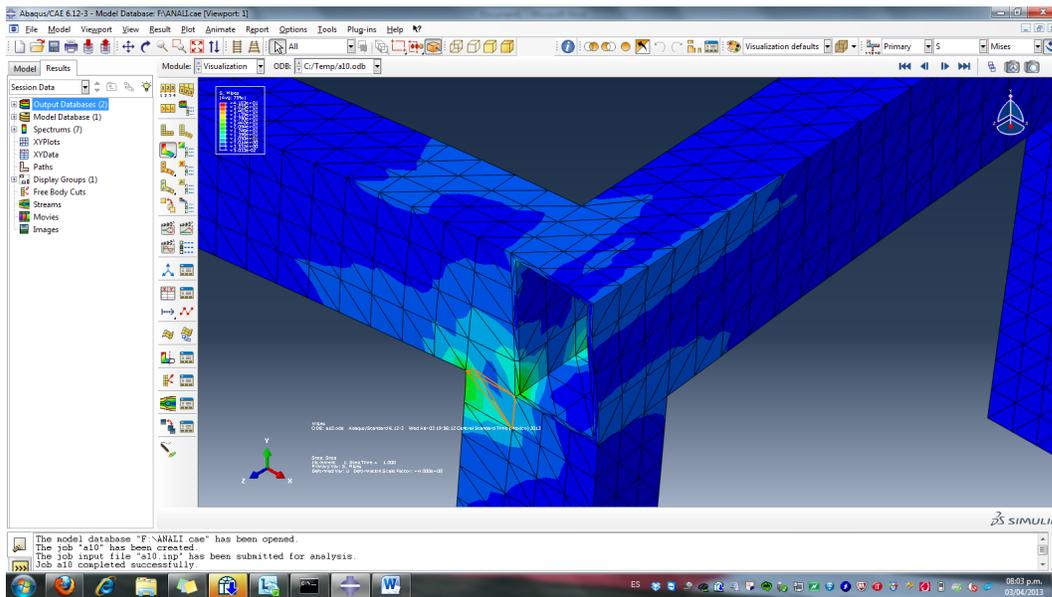


Figura 5.7: Figura donde se muestran los concentradores de esfuerzo en el banco, estas tensiones están en la zona de seguridad.

No. Parte	Nombre	Cantidad	Plano
Fragmento Estructura			
1	Viga_2	2	P1
2	Viga_1	2	P2
3	Viga_3	4	P3
4	7000420 rueda	4	P4
5	Brazos_soporte_motor_trasero	2	P5
6	Perfil_recto_50	2	P6
7	Perfil_recto_30	1	P7
8	Tornillo grueso	4	P8
9	Tornillo soportes motor	4	P9
10	Solera base para ruedas	4	P10
11	Brazos soporte motor hembra	2	P11
12	Brazos soporte motor delantero	1	P12
Consola de control			
13	Consola relays	1	P13
14	Perfil diagonal	2	P14
15	Tablero instrumentos	1	P15
16	Barra 90 cm	2	P16
17	Barra 50 cm	1	P17
Fragmento Combustible			
18	Base tanque gasolina	1	P18
19	Angulo	2	P19
20	Tanque de gasolina	1	P20
Fragmento Radiador			
21	Soporte base radiador	2	P21
22	Base_radiador	1	P22
23	Pinza_radiador	2	P23
24	Ventilador	1	P24
25	Radiador	1	P25

Tabla 5.1: Tabla que muestra el nombre y cantidad de elementos utilizados en el diseño de la estructura.

II. Arquitectura del sistema eléctrico

El esquema eléctrico se constituye por quince elementos de los cuales ocho son elementos físicos y siete son elementos funcionales, dichos elementos están agrupados en ocho fragmentos siguiendo las prácticas mencionadas en la arquitectura del sistema mecánico sobre construir un diseño modular.

Los fragmentos le indican al equipo de desarrollo como puede empezar a trabajar en el diseño del sistema eléctrico, y si existe uno que no contenga interfaces con los otros, se puede diseñar sin preocuparse por las características de diseño de los otros fragmentos. Por ejemplo, el fragmento de protección de circuitos contiene: los elementos de protección de componentes eléctricos y los fusibles, si bien es muy importante en el diseño del sistema eléctrico, y protege los elementos que están en el tablero de circuito, no es necesario saber cómo se diseña el tablero para protegerlo con el uso de fusibles. Los fragmentos que conciernen al diseño del sistema eléctrico son: los circuitos que comprenden el tablero de componentes electrónicos; la conmutación de señales que permitirá alimentar los distintos actuadores del motor en función de los comandos provenientes del sistema de control, por esta razón se puede ver un nodo de conexión hacia el mismo; la marcha que su función consiste en alimentar el motor de arranque para transmitir la energía al cigüeñal y a su vez poner en funcionamiento el motor; el fragmento de encendido se constituye únicamente de un interruptor cortacorriente también conocido como Kill-Switch que se encarga de permitir ,o no, el suministro de energía a todo el sistema, incluido el motor; la energía es uno de los fragmentos más críticos de todo el UMSU pues este fragmento no solo suministra energía a los circuitos electrónicos, sino que también alimenta a los actuadores, sensores y sistema de control; la generación de energía eléctrica es parte también de la energía, sin embargo se convino en que siguiendo una arquitectura modular se pueda separar en otro fragmento sin ocasionar distorsiones en el diseño, está constituido básicamente por el alternador y por la función de convertir energía mecánica en eléctrica; el fragmento de instrumentos al igual que el fragmento de protección de fusibles, es un bloque separado sin interfaces dentro del sistema eléctrico debido a que su alimentación no implica un gran reto de diseño, sin embargo

el cómo se va a integrar este elemento al sistema mecánico es una consideración que se debe tomar en cuenta y se representa con la interfaz conectada al nodo “A” que indica el soporte de módulos en el sistema mecánico; y por último pero no menos importante los elementos de protección de picos de voltaje, si bien el UMSU está diseñado para poder ser reparado con el intercambio de elementos de manera rápida y sencilla, el equipo de desarrollo considera que el tener que detener un experimento a causa de una falla en algún componente por un exceso de corriente, se puede reducir drásticamente si se colocan fusibles [Fig. 5.8].

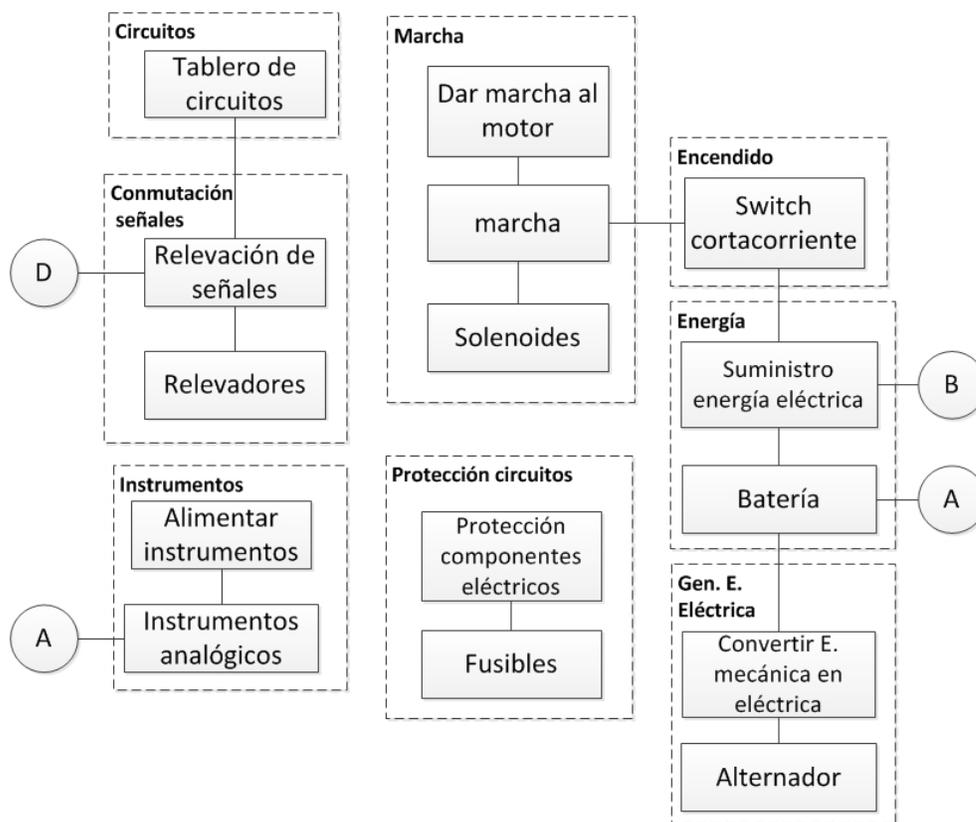


Figura 5.8: Esquema eléctrico de los elementos físicos y funcionales relacionados por sus interfaces y particionado en fragmentos.

Semejante a lo realizado en el sistema mecánico, se propuso una disposición geométrica de los elementos que constituyen el sistema eléctrico, sobre todo para diseñar un tablero de circuitos ordenado y con mejor presentación, y también para

visualizar las interferencias entre los elementos, como pueden ser el espacio necesario para la inclusión de disipadores de calor o el mismo espacio que ocupan los relevadores automotrices. [Fig. 5.9]

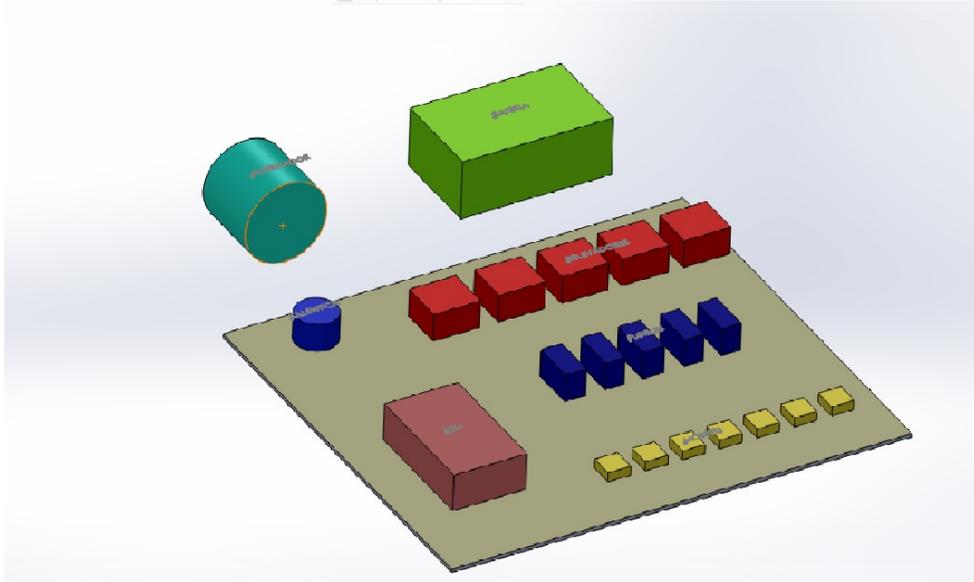


Figura 5.9: Geometría del sistema eléctrico donde se muestran las interferencias geométricas que puedan existir entre los elementos físicos.

II.1. Generación del modelo eléctrico

El sistema eléctrico del motor comprende todos los conectores, cables, relevadores, fusibles y fuentes de poder, que permiten una comunicación confiable entre sensores y actuadores, y la computadora del motor. Los parámetros a considerar de acuerdo a lo que se vio en el capítulo 3 son:

- El sistema debe estar protegido contra sobrecargas.
- El sistema debe contener al menos dos mecanismos de paro de emergencia.
- Debe ser fácil probar la continuidad en los circuitos, voltajes, y otras variables para tener un diagnóstico rápido.

Valores de fusibles	
Componente	Valor fusible
ICM	10 A
Ventilador	20 A
Inyectores	10 A
Bomba de gasolina	15 A

Tabla 5.2: Valores de los fusibles utilizados en el circuito eléctrico.

Dentro de un sistema eléctrico automotriz siempre es necesario proteger los componentes eléctricos de una sobrecarga, ya que existen picos del voltaje que pueden dañar los componentes del motor. Es por eso que es necesario proteger el sistema con el uso de fusibles. Los valores de los fusibles utilizados en el fragmento de protección de corriente se determinan con base en la corriente con la que cada componente del sistema es alimentado, como se muestra en la tabla 5.2.

La conexión de cada sensor al arnés se realizó con conectores del tipo *Weatherpack*, los cuales son idóneos para sistemas automotrices debido a su resistencia al agua y vibraciones, asegurando así un fácil diagnóstico del sistema en caso de falla en alguno de los elementos. Para alimentar el sistema eléctrico se usa una batería de 12 V con una corriente de 550 CCA la cual alimenta todo el circuito.

El sistema eléctrico está diseñado para que pueda ser activado a través de una señal proveniente del cRIO. Si dicha señal no es enviada a un relevador, los componentes no son energizados y el motor no se pone en marcha. De esta manera se tiene un mecanismo de seguridad controlado por el cRIO, si y sólo si el programa se ejecuta el motor puede ser puesto en marcha.

Debido a que dentro del sistema eléctrico existen elementos que necesitan distintas intensidades de corriente, es necesario que la elección del cable que conduce la energía eléctrica se haga con cuidado, de lo contrario se puede producir una sobrecarga en una línea y provocar una falla eléctrica. La elección del calibre del cable se hace con base en tablas ya establecidas que permiten al equipo de diseño con base en la especificación de cada componente determinar el calibre del cable a utilizar como se ve en la tabla 5.3.

Guía de calibre de cables		
Calibre	Amperes	Ejemplo de componentes
8	32-40	Energizar varios componentes en un solo circuito
10	28-35	Ignición de alta potencia
12	18-30	Bomba de gasolina de alta potencia
14	12-20	Banco de inyectores, luces y ventilador
16	8-13	Bomba de gasolina o sistema de ignición
18	6-10	Solenoides
20	4-6	Inyector, luces exteriores
22	2-3	Sensores, luces interiores de baja potencia

Tabla 5.3: Guía de calibre de cables dependiendo la corriente que demandan los componentes [[10]].

Mientras un sistema eléctrico mantenga un orden en el cableado, es más sencillo entender cómo funciona para los usuarios y es más fácil diagnosticar cualquier falla que se presente debido a un corto circuito.

Hay elementos que no se pueden activar a través de un relevador. Cuando estos elementos se tratan de activar con una señal digital la corriente es insuficiente para accionar el relevador, ya que dicha señal es de un voltaje muy bajo. Por ejemplo, los inyectores son activados a través del cRIO. Éstos, están energizados a través de un relevador y cuando se manda una señal “0” lógica desde el cRIO se activa cada inyector individualmente. Debido a este inconveniente se determinó que se requiere un MOSFET para aterrizar cada uno de los inyectores. [Fig. 5.10]

Asimismo, para la activación del sistema en general se tiene una señal que viene del cRIO y activa un solo relevador que permite energizar todo el sistema, dicho relevador también requiere de un MOSFET para su activación [Fig. 5.11].

Por otro lado el sistema eléctrico alimenta a los sensores del motor, en especial a aquellos cuyo voltaje de operación es de 12 V. En el caso de aquéllos sensores que utilizan 5V para operar se utilizó un circuito regulador de voltaje.

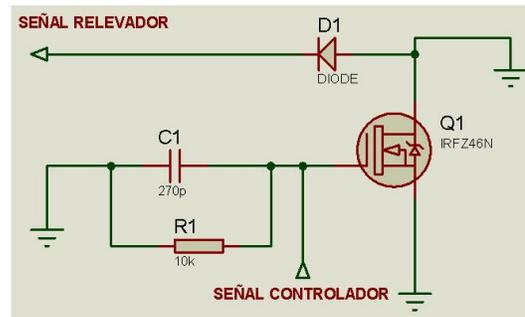


Figura 5.10: Simulación de circuito eléctrico para la alimentación de un actuador usando MOSFET.

Con base en las especificaciones del cliente y pensando en alguna falla o eventualidad en el sistema que ponga en riesgo la integridad de los usuarios, el UMSU tendrá dos botones paro de emergencia: uno en la consola de control del motor y otro en el otro extremo del UMSU de manera que al oprimir cualquiera de los dos deja de alimentar el sistema eléctrico. También se va a agregar un interruptor cortacorriente que permita interrumpir el paso de corriente eléctrica cuando el motor no esté en uso.

La marcha consta de dos etapas: un sistema de acople al volante del motor llamado Bendix y un motor que al ser energizado mueve a través de una relación de engranes el volante de inercia el cual a su vez hace girar al cigüeñal. El sistema de encendido consta de dos solenoides automotrices que energizan el *bendix* y la marcha respectivamente.

El circuito propuesto en la figura 5.11 suministra la energía para activar actuadores a través de relevadores y energiza sensores para las distintas variables del motor soportado por el UMSU. Al circuito se le suministran 12 V a través de una batería localizada en la esquina inferior izquierda del motor, cuya corriente pasa por un sistema de protección de fusibles - indicados por un rectángulo - y energiza los actuadores a través de comandos mandados por la PCM - localizado en la parte superior izquierda según se requiera su función durante el ciclo de funcionamiento del motor: la bomba y el ventilador con activados por señales 1 lógicas, mientras que el ICM y los inyectores se activan a través de señales 0 lógicas enviadas desde el

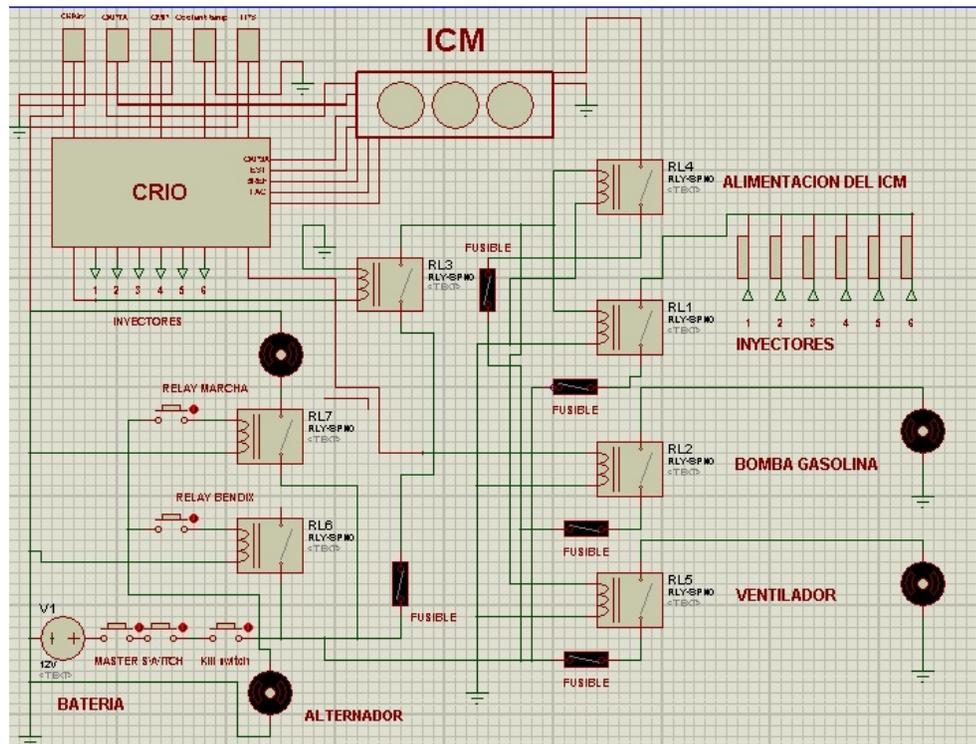


Figura 5.11: Simulación de circuito eléctrico de alimentación del UMSU y sus componentes.

PCM. En la figura 5.11 se indican las entradas al PCM como sensores, y las salidas que en su mayoría son señales de activación de actuadores.

III. Arquitectura del sistema de control

El sistema de control es un reto aparte para el equipo de desarrollo, pues los elementos que lo integran mayormente corresponden a un código de programación. Todas las funciones del sistema de control radican en un desarrollo de código que convive en una plataforma de propósito específico con un procesador, memoria y elementos lógicos así como un ambiente de desarrollo adecuado para la generación del mismo código. Por esta razón, el equipo tiene que recurrir a técnicas de desarrollo de software en tiempo real, así como son la creación de algoritmos, diagramas de flujos, diagramas

de bloques, entre otras. No obstante dado que el sistema de control no se limita únicamente al código embebido en una unidad de control electrónica, también se integran elementos físicos como son el mismo módulo de control de tren motriz, los actuadores, sensores y la interfaz de control y su representación gráfica, en este sistema el equipo de desarrollo también se puede apoyar en la generación de un esquema para definir la arquitectura del sistema de control.

Como se muestra en la figura 5.12, los fragmentos que actúan como bloques de construcción del sistema de control están integrados por: la interfaz, misma que permitirá al usuario obtener los datos de las pruebas ejercidas sobre el UMSU y a su vez definir los parámetros de control para el motor; el fragmento de sensores tiene la función de leer las señales y posteriormente acondicionarlas para realizar operaciones con estas señales; así mismo el fragmento de actuadores se presenta con la tarea de controlar en tiempo y forma la conmutación de señales para poder activar los actuadores en el momento preciso; el control de combustible es incluido en este módulo dado la criticidad del suministro de combustible, además de permitir, en conjunto con un regulador, una presión adecuada en la línea de suministro, tiene la función crucial de detener el bombeado de combustible en caso de una falla en el sistema; análogamente y como otro elemento de seguridad para el operador, el control de alimentación permite al usuario y paralelamente al módulo de control cortar todo suministro de energía al motor en caso de una emergencia; el control de temperatura satisface la necesidad de protección del motor pues su función radica en detener el funcionamiento del motor en caso de que el sistema de enfriamiento no esté funcionando adecuadamente y el motor alcance una temperatura muy elevada; el control central es el fragmento clave del sistema de control y constituye el módulo de control del motor, es aquí donde se encuentra todo el código de monitoreo y control y es también donde se aloja el procesamiento de las funciones.

Como se puede observar el sistema de control representa uno de los pilares de la arquitectura del UMSU y es crucial su correcto funcionamiento para el éxito del proyecto, si bien el desarrollo del código se puede ir generando conforme los alcances del proyecto vayan aumentando, pues es parte de las necesidades del mercado, el equipo de desarrollo tiene el reto de crear no solo un código funcional, modular, robusto

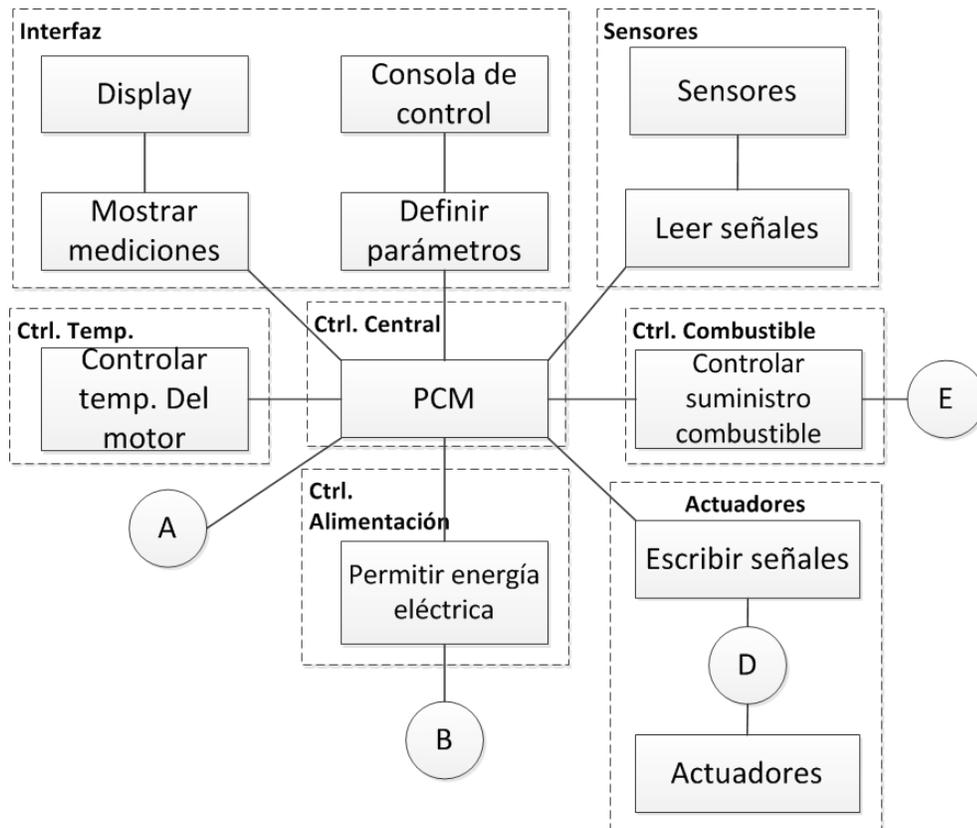


Figura 5.12: Esquema del sistema de control de los elementos físicos y funcionales relacionados por sus interfaces y particionado en fragmentos.

y con características de tiempo real, sino también un código que al ser estudiado y analizado por más desarrolladores sea tan flexible que permita su crecimiento con la aportación de la comunidad de desarrolladores y usuarios de LabView. Para propósito de visualizar geoméricamente la distribución y complejidad de los módulos se creó una disposición geométrica del software de control dividido en módulos que se estudiarán y explicarán más adelante [Fig. 5.13].

III.1. Generación del modelo de control

Como se mencionó anteriormente, para el ambiente de control del UMSU el equipo de desarrollo decidió usar el entorno de desarrollo gráfico de LabVIEW por

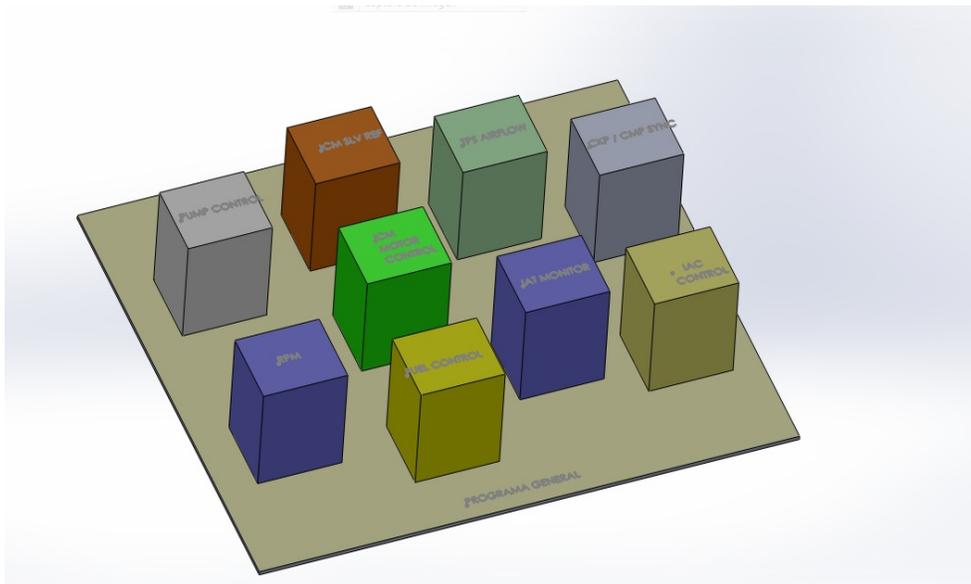


Figura 5.13: Geometría del sistema de control donde se muestran los módulos de control que integrarán el sistema como si fueran bloques físicos, permite ver las interferencias que pudieran existir entre los mismos.

la naturaleza del proyecto y porque permite transmitir fácilmente los paradigmas de programación a los futuros desarrolladores así como modificarse sencillamente conforme avance la complejidad del proyecto. Con ayuda de la disposición geométrica el equipo de desarrollo permea una idea clara de la distribución modular que debe presentar el Instrumento Virtual, y cómo debe de constituirse en términos jerárquicos. Siguiendo la disposición geométrica del sistema de control, el equipo generó diagramas de flujo para representar gráficamente los algoritmos necesarios para programar cada módulo [Apéndice G].

Gracias a la versatilidad del cRIO, el equipo de desarrollo implementó conceptos de programación en tiempo real así como técnicas de programación de sistemas embebidos. El cRIO combina un procesador de computación en tiempo real embebido y un FPGA que permite procesar tareas paralelamente. Dado que el cRIO, cuenta con dos herramientas muy poderosas que se pueden utilizar para desarrollar el código, el equipo de desarrollo tiene que decidir en cuál de los dos sistemas programar cada parte del código, para que exista una buena comunicación y desempeño en el

sistema. Debido a que el FPGA es un arreglo de compuertas lógicas programables la ejecución de las tareas se puede llevar a cabo de forma paralela, en este sistema el equipo de desarrollo convino en programar los módulos que requirieran interacción con los sensores y actuadores, para tener una ágil adquisición de señales y respuesta veloz. Por otra parte el procesamiento de las instrucciones, así como las operaciones de funciones y la interacción con el usuario; y la interfaz gráfica se programaron en la computadora de tiempo real del cRIO. A su vez, la plataforma CRIO cuenta con dispositivos físicos intercambiables de I/O que se conectan a un bus de alta velocidad para tener respuestas de velocidades en nanosegundos. En este proyecto el equipo de desarrollo convino en usar tres dispositivos del cRIO: un módulo de salidas analógicas de dieciséis puertos, un segundo de entradas analógicas de ocho puertos, y un tercero digital de entradas o salidas configurables de dieciséis puertos.

Para tener una referencia de la relación que existe entre los puertos configurados en la programación de los módulos, y los sensores y actuadores, el equipo estableció un mapa de entradas y salidas de la plataforma, esto con el objetivo de estandarizar la conexión de todos los sensores y actuadores a utilizar. [Tabla 5.4]

Dado que se espera que las tareas de los diferentes módulos de control se ejecuten de forma simultánea, estos se desarrollan en el mismo ciclo de ejecución del programa, sin embargo el primer problema al que se enfrenta el equipo de desarrollo es que al tener una ejecución de todos los códigos de los módulos simultáneamente no se le puede pedir al FPGA que espere a cierto evento para empezar la ejecución de los mismos. Sin embargo esto se puede resolver con un ciclo *while* que no le permita al programa continuar hasta que algún evento interrumpa el mismo ciclo. El único inconveniente es que para el FPGA la ejecución de este ciclo *while* se realizaría paralelamente con la ejecución del resto de los módulos, es decir, el código se seguiría ejecutando sin esperar la interrupción del ciclo. Para solucionar este inconveniente LabView sugiere el uso de la función *Flat Sequence* [Fig. 5.14] Ésta es una secuencia de eventos dividida que le indica al programa, no iniciar la ejecución de un cuadro sin antes haber concluido la ejecución del cuadro anterior.

Como se revisó en la arquitectura del sistema de control, uno de los módulos críticos para la constitución del sistema es el control de energía de los relevadores.

Mapeo de I/O del cRIO			
Sensor/Actuador	Mod1AO	Mod2AI	Mod3DI/O
Master Switch		AI0	
Master Relay	AO0		
Pump Switch	AO1		
CKP3X		AI1	
CMP	BATT	AI2	
CKP24X	BATT	AI3	
IAT		AI4	
IAC1	AO2		
IAC2	AO3		
IAC3	AO4		
IAC4	AO5		
Inyec1	AO6		DO0
Inyec2	AO7		DO1
Inyec3	AO8		DO2
Inyec4	AO9		DO3
Inyec5	AO10		DO4
Inyec6	AO11		DO5
ICM Slave Reference	AO12		
ICM Master Control	AO13		
TPS	BATT	AI5	
MAP	AO14	AI6	

Tabla 5.4: Mapa de conexiones de los módulos de I/O del cRIO con los sensores y actuadores, indica a qué módulo conectar cada sensor o actuador para funcionar correctamente.

El equipo de desarrollo integró al primer recuadro de la secuencia un módulo denominado Main Switch Latch [Fig. 5.15] que impide la ejecución del segundo recuadro hasta que una señal de voltaje es detectada proveniente del interruptor físico general conocido también como *Kill Switch*.

Una vez que el usuario activa el *Kill Switch* el ciclo de Main Switch Latch se interrumpe y el programa continúa la ejecución del segundo recuadro, donde el Main Switch permite estar monitoreando continuamente tres factores críticos del UMSU: la temperatura del motor, mediante un sensor de temperatura conocido como IAT; el *Kill Switch*, que si bien es cierto que el sistema eléctrico se encarga de cortar el suministro de energía a los relevadores apenas se desactiva el *Kill Switch*, por motivos de redundancia y seguridad es conveniente que el sistema de control también

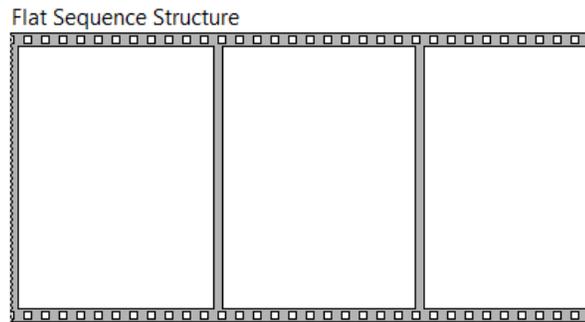


Figura 5.14: Flat Sequence: Función en LabView de ejecución de eventos secuencialmente.

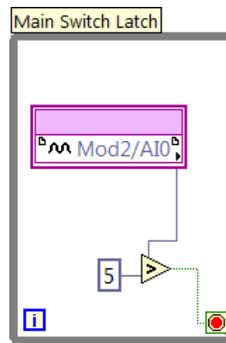


Figura 5.15: Primer módulo de ejecución del sistema de control, impide la ejecución de los demás módulos hasta que el *Kill Switch* es encendido.

interrumpa todas las ejecuciones de los módulos de control; y el control virtual booleano, que está incluido en la consola virtual del UMSU y es un botón con el nombre de «STOP» que al encenderse por el operador, interrumpe de manera inmediata la secuencia del código.

Como se puede ver en el ciclo de Main Switch [Fig. 5.16], cuando el sensor de temperatura indica que el motor está por encima de los noventa grados centígrados, la condición resulta falsa y se escribe un cero que es la diferencia de potencial que alimentará al *Master Relay* y a su vez es comparado en la desigualdad donde el resultado de la notación enciende el indicador booleano de Main Stop, dicho indicador detiene automáticamente todos los módulos en ejecución. Si el *Kill Switch* es desconectado, o el botón STOP encendido desde la consola virtual, el resultado es la interrupción inmediata de todos los módulos y de la energía que alimenta al sistema

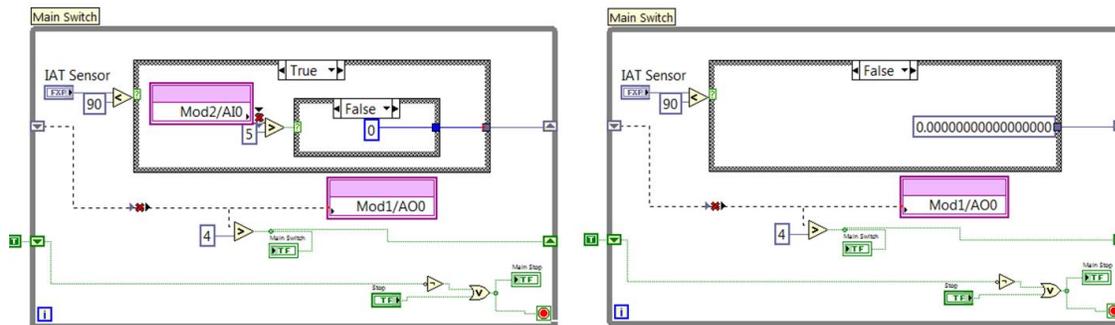


Figura 5.16: Módulo de monitoreo de condiciones para la interrupción inmediata de energía y de ejecución del resto de los módulos.

eléctrico. En caso de que las condiciones anteriormente descritas no sucedan, el Main Switch alimenta de forma continua al *Master Relay* con cinco volts y el indicador booleano de Main Stop permanecerá apagado.

El siguiente módulo de interés para el equipo de desarrollo consiste en el módulo de control de combustible, el objetivo de este módulo es controlar el encendido de la bomba de combustible. Debido a que se necesita contar con cierta presión en la línea de combustible para encender el motor, al encender el *Kill Switch* el módulo de control de combustible enciende durante dos segundos la bomba de combustible, y con ayuda de un regulador se logra alcanzar una presión cercana a los 50 PSI. Si en el lapso de los dos segundos que se mantiene la bomba encendida no se hizo poner en marcha el motor, el módulo de control de combustible apaga la bomba y espera a que se active la marcha del motor para volver a encenderla.

Como se muestra en la figura 5.17, el control del sistema de combustible es un ciclo *while* que inicia con una condición «*true*», esta condición se compara primero con la existencia de una señal proveniente del cigüeñal, que indique que el motor se ha puesto en marcha a través de un operador booleano OR, esto quiere decir que en la primera instancia de ejecución del ciclo el resultado del operador OR resulta «*true*»; indistintamente si hay o no movimiento por parte del motor, y entrega una señal de 10 V al relevador de la bomba de gasolina y a su vez enciende un testigo luminoso de la consola de control virtual indicando que la bomba de gasolina está encendida. Después en el segundo recuadro de la secuencia Flat se observa una función de

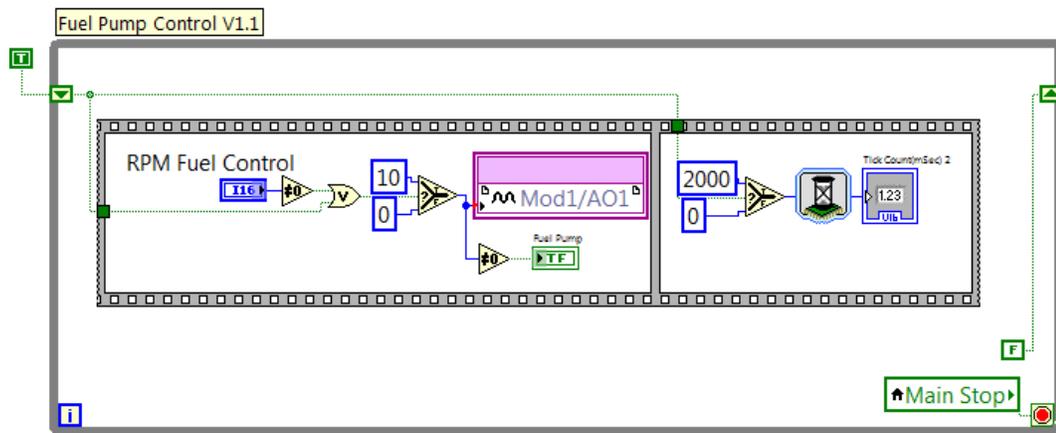


Figura 5.17: Módulo de control de la bomba de gasolina, es activado por la señal de voltaje en el Kill Switch y por una señal proveniente del sensor CKP24x.

tiempo, misma que es activada durante dos segundos, lapso de tiempo suficiente para alcanzar la presión suficiente en la línea de combustible. Una vez transcurridos los dos segundos de operación inicial de la bomba, la condición inicial que empezó siendo «*true*», se actualiza a un estado «*false*», teniendo como resultado que a partir de la segunda instancia de ejecución lo único que pueda encender la bomba de gasolina es el la detección de una señal del sensor CKP24X. En caso de existir revoluciones en el cigüeñal, el operador OR genera que se mande una señal de 10V al relevador de combustible. La función de tiempo solamente funciona durante la primera instancia de ejecución del módulo puesto que la condición inicial «*true*» que le indicaba esperar durante dos segundos ahora es «*false*», y no volverá a ser «*true*» hasta que se reinicie el sistema, o lo que es lo mismo se detenga el motor y se vuelva a poner en marcha. Ligado a las condiciones de funcionamiento del módulo de Main Switch, y de manera similar al resto de los módulos de control, la única condición que puede detener este ciclo de instrucciones es que el indicador de Main Stop del módulo anteriormente mencionado se encienda, porque se sobrecalentó el motor, se apagó el *Kill Switch* o se presionó el botón de STOP en la consola virtual.

El módulo de control de inyección es una pieza elemental en el sistema de control y es la piedra angular del funcionamiento del motor, el ciclo está integrado

en el segundo recuadro de la *Flat Sequence* y éste comienza cuando se activa el *Kill Switch*, el módulo de control de inyección espera a recibir una señal del sensor CMP la cual indica que el orden de inyección debe comenzar siguiendo el orden de ignición particular a cada motor, y esta señal es activada una vez por cada ciclo del motor.

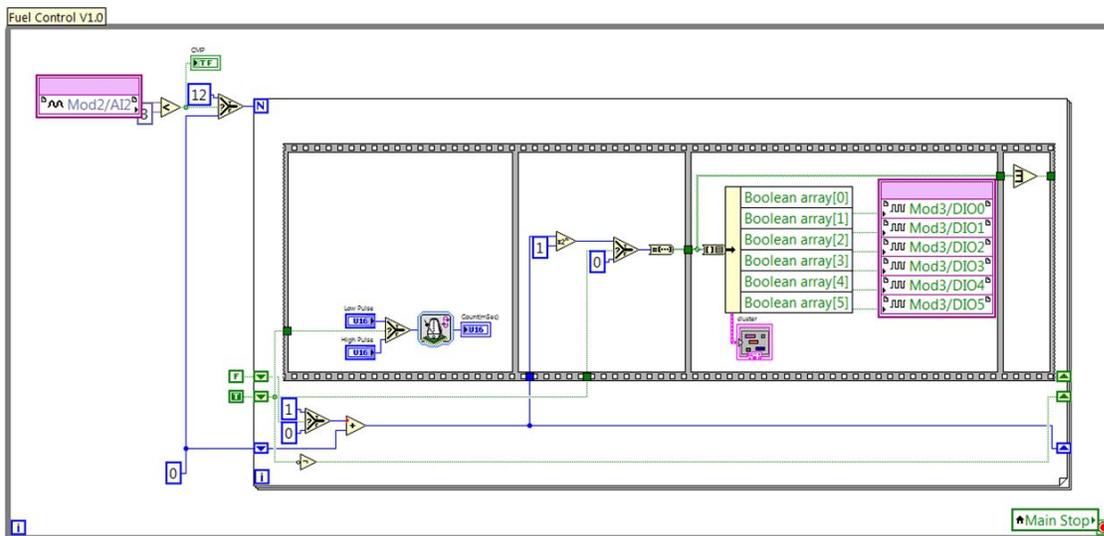


Figura 5.18: Módulo de control de inyección, es activado una vez cada ciclo por una señal enviada por el sensor del CMP y permite controlar los tiempo de inyección y reposo.

El control de inyección que se muestra en la figura 5.18, consta de un ciclo *while* donde una variable booleana es activada por el CMP y es a su vez la bandera para iniciar un ciclo *for* con doce ciclos establecidos para un motor de seis cilindros, seis para activar los inyectores y otros seis para apagarlos. El ciclo *for* contiene en su interior una secuencia *Flat* donde el primer recuadro es un contador que puede iniciarse con dos posibles entradas: la superior etiquetada como *low* que indica cuanto tiempo esperar mientras el arreglo de booleanos es cero y la inferior que es *high pulse*, ésta indica cuanto tiempo esperar cuando el arreglo de booleanos es diferente de cero. El segundo recuadro contiene el operador matemático que va elevando la potencia de dos para convertir el resultado posteriormente en un arreglo de bits y tener, conforme vayan sucediendo las estructuras de control, el efecto del bit de corrimiento. En este mismo recuadro hay una compuerta de opción que indica si se tiene que usar el resultado del operador exponencial o la constante preestablecida como cero, como se

menciona anteriormente esta compuerta lógica se intercala para, en un ciclo encender un inyector y en el otro, apagar todos los inyectores. En el siguiente recuadro viene la distribución de alimentación de las salidas del módulo digital del cRIO, mismas que alimentan de forma controlada los MOSFET del sistema eléctrico controlando así los inyectores. En el último recuadro está configurada una función de operador OR de arreglo de booleanos que compara si dentro del arreglo existe algún bit en «1» colocando una bandera como «*true*», y si el comparador encuentra que todos los bits están en «0» apaga la bandera para que en el próximo ciclo no se incremente el exponente de la base de la potencia otro dígito más y se mantenga la potencia del ciclo anterior. Posteriormente, el resultado es convertido en un arreglo de bits y colocado en el arreglo de booleanos. Además, el ciclo tiene una condición que va iterando entre «*true*» y «*false*» en cada ciclo para dejar o no pasar el resultado de la potencia y de esta forma se genera la secuencia mostrada en la tabla 5.5

Ciclo	Potencia	Secuencia de Inyección			Tiempo
		Compuerta	Bits Array	Inyector	
0	2^0	FALSE	000000	0	Low Pulse
1	2^0	TRUE	100000	1	High pulse
2	2^1	FALSE	000000	0	Low Pulse
3	2^1	TRUE	010000	2	High pulse
4	2^2	FALSE	000000	0	Low Pulse
5	2^2	TRUE	001000	3	High pulse
6	2^3	FALSE	000000	0	Low Pulse
7	2^3	TRUE	000100	4	High pulse
8	2^4	FALSE	000000	0	Low Pulse
9	2^4	TRUE	000010	5	High pulse
10	2^5	FALSE	000000	0	Low Pulse
11	2^5	TRUE	000001	6	High pulse
12	2^6	FALSE	000000	0	Low Pulse

Tabla 5.5: Secuencia de inyección donde se muestran los doce ciclos del módulo y el inyector activado para dicho ciclo, así como el tiempo que el mismo estará activado o en reposo.

Debido a la naturaleza del motor, se puede encontrar en el mismo un módulo integrado de fábrica que hace la función de tomar el control en la ignición de las bujías, dicho módulo se le conoce como ICM, y se encarga de hacer funcionar el motor en bajas revoluciones. Una vez que el mismo alcanza las 400 RPM el módulo de control del ICM ubicado en el FPGA envía una señal de 5 V para indicar al ICM

que el primero tomará el control de la ignición. Para definir el tiempo de ignición de las bujías el ICM debe recibir una señal cuadrada por parte del módulo de control, donde la frecuencia indica el tiempo de disparo de chispa por cada bujía.

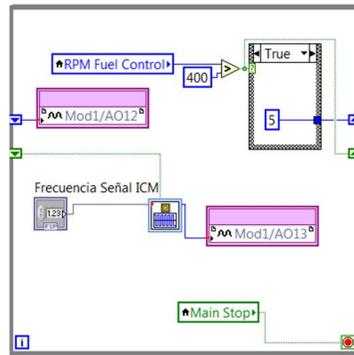


Figura 5.19: Módulo de control de inyección, es activado una vez cada ciclo por una señal enviada por el sensor del CMP y permite controlar los tiempo de inyección y reposo.

En el código de bloques de la figura 5.19 se puede ver un comparador que indica si se debe escribir una señal de 5V en el ICM Slave Reference, esto a su vez ocasiona que un generador de funciones cuadradas sea reiniciado para generar la señal de control de ignición con base en una frecuencia dictada por el operador en la consola virtual de control.

Una vez que se diseñaron los módulos que irán en el FPGA, el equipo de desarrollo programa las funciones que radican en la computadora del cRIO. Debido a la naturaleza de la computadora en tiempo real el equipo no puede usar los mismos paradigmas que utilizó al programar el FPGA, recordando que los módulos en el FPGA pueden correr paralelamente. Si bien la computadora del cRIO elimina las bondades de poder ejecutar códigos paralelamente, entrega otras muy útiles entre las que se pueden percibir la utilización de una función de ciclo *while* temporizado y a su vez una alta rapidez en operaciones matemáticas. Con esta versatilidad y la ventaja de la ágil comunicación entre el FPGA y la computadora del cRIO el equipo puede desarrollar un código que se encargue de hacer las operaciones matemáticas, así como de controlar los módulos que están en el FPGA.

El programa [Fig. 5.20] comienza con dos controles que corresponden a la ve-

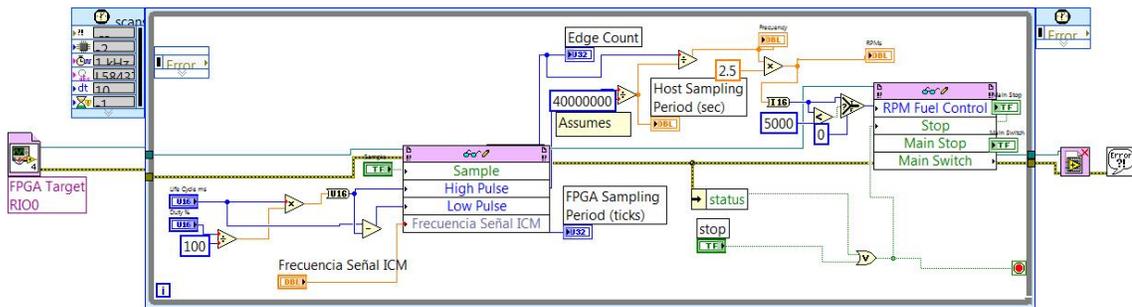


Figura 5.20: Código de control, está ubicado en el Host o lo que es lo mismo en la computadora principal del cRIO y su función es interactuar con el usuario y el FPGA así como hacer las operaciones de las funciones matemáticas.

localidad de inyección, como se vio en el módulo de control de inyección existen dos variables que se pueden controlar para determinar el tiempo de inyección «ON» y el tiempo en reposo «OFF» de los inyectores. También existe una función dentro del cRIO, que permite leer y escribir sobre las variables del FPGA, por esta razón se ve esta función varias veces en este código. Una vez que el programa del HOST envió los parámetros de inyección al FPGA, el mismo se encarga de leer los pulsos que el sensor CKP24x está detectando y dividirlo entre el periodo de los mismos para obtener la frecuencia a través de una relación dada por.

$$RPM = (pul/seg) * (rev/24pul) * (60seg/min) = f * 2,5$$

Debido a que si el cigüeñal no se encuentra mandando pulsos, la computadora sigue haciendo la operación de división, y esta se considera infinita por lo tanto el control de la bomba de combustible se activa y esta continua operando sin importar que el motor esté detenido. Por esta y por razón de seguridad el sistema detiene la bomba de gasolina si éste detecta que las RPM han superado las 5000 RPM.

Además de las funciones, el instrumento virtual cuenta también con controles que permiten al usuario monitorear y controlar el funcionamiento del motor[Fig. 5.21]. En la parte central se muestra un tacómetro, que aunque se visualiza analógicamente para facilitar la lectura del operador del UMSU, es un medidor basado en una lectura digital. En la zona izquierda de la consola de control se muestran tres ventanas que indican el conteo de los flancos ascendentes de la señal del sensor de cigüeñal CKP24x, el periodo de conteo de los flancos y la frecuencia de conteo, que

es indispensable para conocer las RPM, recordando que la constante de proporcionalidad entre la frecuencia y las RPM es igual a 2.5.

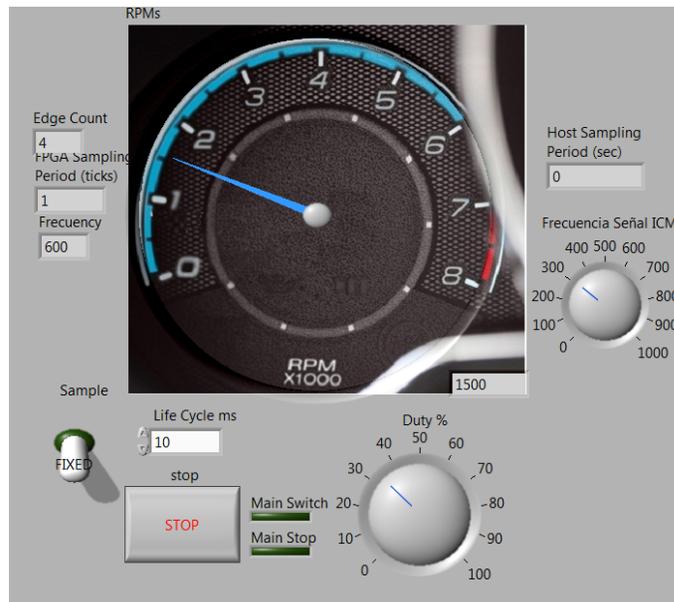


Figura 5.21: Panel de control virtual para el control del motor y monitoreo de sensores, incluye los instrumentos virtuales.

El tiempo de inyección se controla mediante dos variables en la consola virtual, el periodo o ciclo de vida indicado en ms que define cuánto durará el control sobre cada actuador, y el ciclo de trabajo que controla el porcentaje de tiempo de encendido del inyector dentro del mismo periodo. Por ejemplo, siendo 10 ms el periodo y 50 % el ciclo de trabajo, el inyector se enciende 5 ms y el resto del periodo se mantiene en estado de reposo.

Para ayudar a realizar mediciones, la consola cuenta con un interruptor que permite congelar el tacómetro, sin afectar el funcionamiento normal del motor. En la parte superior derecha se encuentra el control de frecuencia de periodo que tendrá la función cuadrada que controla la ignición en el ICM, el ciclo de trabajo de esta función se encuentra previamente establecido en 50 % y está definido en las características de la función en el módulo de control de ICM. Por último se encuentra un botón de STOP, mismo que como se ha visto en las funciones anteriores, detiene todos

los módulos de control del FPGA y corta el suministro de energía a la bomba de combustible, así como a los relevadores principales del circuito eléctrico.

El equipo de desarrollo logro concluir satisfactoriamente el diseño de todos los elementos del UMSU. Así como resolver las interferencias que había entre lo elementos funcionales del mismo para obtener una evaluación del mismo diseño se llevó a cabo la construcción de un prototipo para controlar y hacer pruebas en un motor donado a la Facultad de Ingeniería.

Capítulo 6

Prototipo y Pruebas

En el capítulo anterior el equipo de diseño propuso una arquitectura modular para cada uno de los sistemas del UMSU. Cada sistema fue analizado y su funcionamiento fue probado a través de una simulación, sin embargo estos diseños deben ser probados con la construcción de un prototipo que permita evaluar su confiabilidad una vez construidos.

No importando lo bueno que sea el diseño de un producto o un sistema siempre se debe construir un prototipo que ayude a localizar fallas y áreas de mejora que resulten en la entrega de un mejor producto al cliente.

Con el propósito de probar el banco de pruebas para el fin con el que fue construido, el equipo de diseño utilizó un motor donado a la Facultad de Ingeniería por parte de General Motors [Fig. 6.1]. El motor donado para este proyecto es un motor de combustión interna con una potencia de salida de 160 HP a 5200 RPM y un torque de 185 lb-ft 400 RPM. Cuenta con 6 cilindros distribuidos en forma de V. El diámetro del cilindro es de 89 mm mientras que la carrera es de 84 mm lo que le da un desplazamiento de 3135 cc (3.1 L), y tiene un radio de compresión de 9.5:1 [25]

Para que el motor se pudiera poner en marcha se necesitaron varios componentes, con los cuales el motor donado no contaba en un principio y son esenciales para su funcionamiento. Los elementos que se encontraban faltantes en el motor son: la marcha, las poleas libres, la polea tensora, la bomba de dirección hidráulica, la



Figura 6.1: Imagen del motor GM donado a la Facultad de Ingeniería. [18]

banda y el alternador.

Se construyó un prototipo del UMSU con el fin de probar tanto la funcionalidad de la estructura, como la distribución de los módulos utilizando el concepto y la arquitectura seleccionados en el proceso de diseño. Este prototipo está hecho con perfil de acero del mismo tipo con el que se realizaron los análisis estructurales y de esfuerzos en el capítulo 5. Asimismo se armó un circuito eléctrico con base en el diseño descrito en el capítulo 5 respetando calibres de los cables dependiendo el tipo de componente que se está alimentando. Para un fácil diagnóstico de cualquier problema eléctrico se hizo una elección de diferentes colores para cada sistema y para reconocer de un cable de voltaje y uno de tierra.

Durante la construcción del circuito eléctrico propuesto en el capítulo anterior, surgieron diversos problemas que el equipo de diseño resolvió conforme se iba avanzando en el diseño. El primero de ellos surgió cuando se inició con las pruebas para la activación de los inyectores, los cuales están energizados al mismo tiempo por un relevador y para activarlos se debe hacer individualmente de tal manera que se logre el orden de inyección.

Siguiendo el proceso de modularidad, es importante que la funcionalidad de cada sistema sea probado individualmente para garantizar su óptimo desempeño. Primero se probó el circuito que controla la marcha verificando su robustez, poste-

riormente, para adaptar el programa genérico de LabView se verificó que los sensores funcionan correctamente y se conectaron a un osciloscopio para verificar si la señal que arrojan es digital o analógica. Es importante probar el funcionamiento de conmutación de los relevadores del sistema con el fin de garantizar que son activados a tiempo y que cada cámara de combustión recibe la inyección de combustible en el momento preciso. De este modo, la integración de todos los módulos del sistema eléctrico se traduce en un sistema donde la incidencia de fallas eléctricas se reduce considerablemente. Con el fin de probar el desempeño del motor se implementaron los sensores y actuadores esenciales para la puesta en marcha del motor, dicho motor tiene 3 sensores esenciales: un CKP24X, un CKP7X y un CMP.

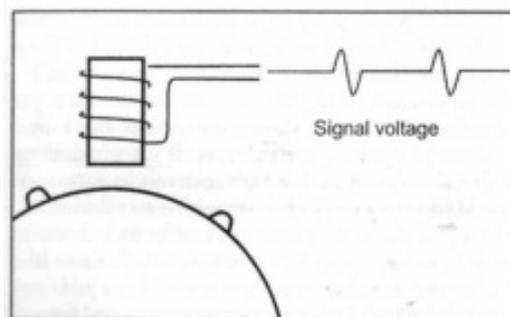


Figura 6.2: El CKP7x es un sensor de reluctancia variable que usa una bobina para generar una corriente eléctrica debido a cambios en un campo magnético. [10]

El CKP7X es un sensor de inductancia magnética variable que manda una señal analógica activada cada vez que uno de los siete espacios de la rueda dentada pasa por el sensor dentro del cigüeñal. Como se muestra en la figura 6.2, el espacio que existe entre la punta del sensor y la rueda dentada es aproximadamente 0.050 pulgadas. Cuando los espacios vacíos pasan por el sensor, el campo magnético es alterado, lo que produce un pulso de voltaje. Este pulso se genera siete veces por cada revolución. La señal es enviada al DIS el cual no opera si el PCM no recibe el la señal de este sensor. Para saber cómo es la naturaleza de esta señal, se graficó la señal con un osciloscopio y se obtuvo la imagen de la figura 6.3.

El CKP24X es un dispositivo de efecto Hall accionado por un anillo interruptor colocado en la polea del cigüeñal. El sensor produce pulsos altos y bajos cada vez

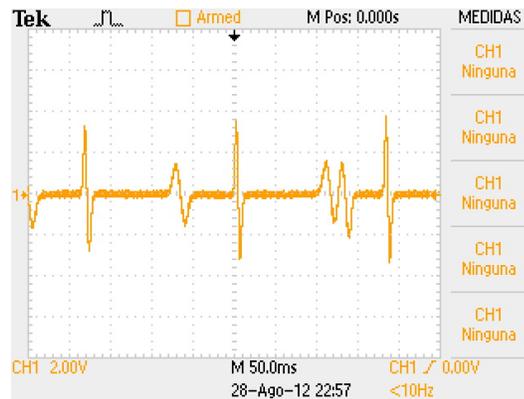


Figura 6.3: Imagen de la señal obtenida por el CKP7x.

que uno de los 24 espacios en el anillo interruptor pasa a través del sensor óptico. Este sensor se usará para determinar las RPM del motor.

Los actuadores que usa el prototipo son: bomba de gasolina, ventilador, inyectores y bujías, por lo que se adapta al circuito diseñado para el UMSU. De esta manera se puede probar al cien por ciento el diseño propuesto a través del ensamble prototipo.

El riel de inyección del motor utilizado en el prototipo debe ser alimentado por una bomba que suministra una presión a la gasolina de 45 psi. [10]

El control de la chispa de ignición del motor GM V6 SFI, utiliza un módulo que se comunica con el PCM para controlar el avance de chispa. El orden de encendido ya está dado automáticamente en la memoria del ICM y dicho orden no es alterado ya que lo que se altera es la velocidad con que la secuencia de las bujías es ejecutada. El orden de encendido es (1-2-3-4-5-6). Este sistema de ignición sin distribuidor, usa un método de distribución de chispa llamado “chispa perdida”. Cada cilindro está apareado con el cilindro que es opuesto en su ciclo (1-4, 2-5,3-6). Cada bobina dispara dos chispas: la primera se dispara en el cilindro que está en el tiempo de compresión, mientras que el opuesto está en el tiempo de escape. Como la chispa en el cilindro que está en tiempo de escape requiere poca energía, la energía restante se usa para el cilindro que está en el tiempo de compresión donde inicia la combustión dentro del cilindro. Debido a estas ventajas y a la disponibilidad de un DIS funcional se decidió

usar este sistema para la ignición [16]. El programa de control se adapta al diseño implementado en el capítulo de arquitectura ya que actualmente un gran número de los modelos de motores modernos utilizan el DIS para controlar la ignición [Fig. 6.4].

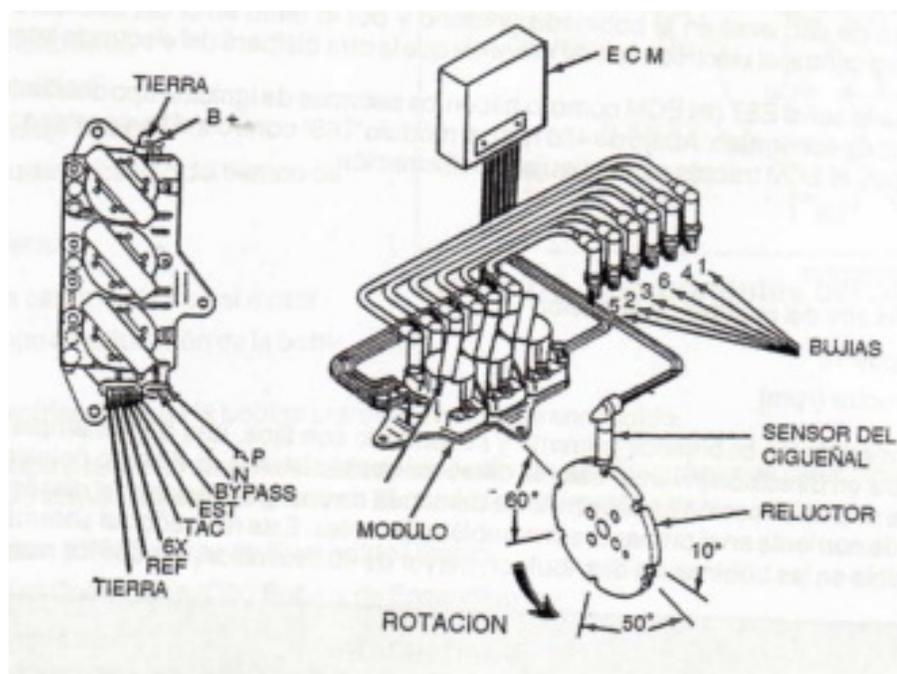


Figura 6.4: Relación entre el sensor del cigüeñal con el disco reluctor del cigüeñal y el ICM [16]

El módulo de control de ignición se encarga de crear una señal de conmutación generada por la corriente primaria de las bobinas de ignición para crear la chispa para encender la mezcla aire-combustible. Esta señal es creada simplemente interrumpiendo la señal de conmutación al aterrizar la señal intermitentemente.

Para la señal de conmutación, el ICM debe recibir una señal de AC del CKP7x. Dicha señal es producida por medio de una rueda dentada que tiene ranuras espaciadas cada 60 grados, cuando la señal del sensor CKP7x es interrumpida debido a estas ranuras se produce una señal de corriente alterna. Dicha señal es procesada y digitalizada por el ICM. Esta nueva señal es conocida como señal 3x.

Siguiendo el diagrama de la figura 6.5, el ICM sigue el algoritmo mostrado a continuación para realizar su funcionamiento:

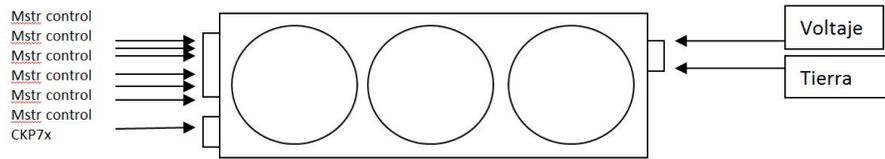


Figura 6.5: Diagrama de conexiones del ICM utilizado en el motor del prototipo

1. Cuando el sistema es energizado, el ICM recibe 12 V y permanece en estado de reposo.
2. Cuando se da marcha al motor, el cigüeñal gira y el sensor CKP7x genera una señal de entrada al ICM que tiene 7 pulsos por revolución. Dicha señal, es procesada y digitalizada por el ICM. La señal obtenida es un pulso con una frecuencia de 3 pulsos por revolución, o 6 pulsos por ciclo del motor.
3. A partir de la entrada de la señal del sensor CKP7x, el ICM empieza a activar y desactivar las bujías según se requiera. Dicha secuencia se conoce como señal de conmutación y el ICM la tiene almacenada en su memoria.
4. Debajo de 400 RPM el ICM se encarga del control de la señal de ignición sin la ayuda de la PCM.
5. Una vez que el motor gira por arriba de las 400 RPM, el PCM se encarga del control de la ignición a través de dos señales: una señal de referencia de 5V que va al ICM y le indica que el PCM toma el control, y una señal de control de ignición, EST, que controla ahora el ICM.

El ICM detona la primera bujía y queda en espera para detonar la segunda bujía y así sucesivamente. Si el PCM manda 0V por el ICM Slave Reference la bujía empieza a contar otra vez desde la bujía uno. Cada vez que el PCM detecta un flanco descendente en uno de los pulsos de la señal que entrega el sensor CKP3x, cuenta el número de grados que faltan para detonar la bujía. Este número de grados cambia con base en las RPM del motor.

La integración de los 3 sistemas, permite al equipo de diseño realizar las primeras pruebas para observar el desempeño del motor. El prototipo del programa de

Velocidad del motor sin válvula IAC	
Ancho de pulso (ms)	Revoluciones RPM
70	2500
65	2300
60	2150
55	2060
50	1950
45	1860
40	1750
35	1600
30	1490
25	1350
20	1200
15	1100

Tabla 6.1: Resultados de las velocidades del motor en RPM sin el uso de la válvula IAC.

control permite variar tanto el adelanto de la chispa como también variar el ciclo de trabajo con el cual el inyector se mantiene encendido. Las primeras pruebas que se hicieron después de lograr poner en marcha el motor entregaron una velocidad de 2500 RPM en ralentí [Tabla 6.1]. Sin embargo para esta clase de motor, la velocidad en ralentí es de menos de 1000 rpm, por lo que se fue disminuyendo el ancho de pulso y ciclo de trabajo hasta lograr obtener 1100 RPM. Aunque disminuyendo aún más al ancho de pulso se lograba disminuir las revoluciones el motor se apagaba repentinamente.

Al término de la experimentación, se encontró que el ancho de pulso de 30 ms con un ciclo de trabajo del 50 % mantenía la velocidad del motor considerablemente estable; no obstante, las RPM muy por encima de la velocidad de ralentí del motor, debido a que la mezcla de aire y combustible era rica en aire y de forma indeseada aceleraba el motor. Para resolver este problema se usó un elemento más del motor que permite el control del paso del aire en ralentí: la válvula IAC. La válvula IAC (Idle Air Control) por sus siglas en inglés, se encarga de controlar el aire que pasa al múltiple de admisión cuando el automóvil se encuentra en ralentí, es decir, con el papalote de cuerpo de aceleración totalmente cerrado. La válvula IAC es controlada

Velocidad del motor manipulando la válvula IAC	
Ancho de pulso (ms)	Revoluciones RPM
70	1950
65	1870
60	1740
55	1650
50	1520
45	1430
40	1320
35	1200
30	1360
25	1250
20	1150
15	1000

Tabla 6.2: Resultados de las velocidades del motor en RPM con el uso de la válvula IAC.

por el PCM ajustando la velocidad en ralentí en función de las condiciones del motor. En este caso, en el programa prototipo la válvula IAC es manipulada manualmente por el usuario que se encarga de cerrar y abrir la válvula.

De esta manera se redujo considerablemente el régimen y se logró que un pulso más pequeño revolucione menos el motor [Tabla 6.2]. Esto también permitió que la temperatura se eleve con una menor velocidad y que el ventilador no se active continuamente. Es importante recalcar que el alcance del proyecto en el módulo de control es prender el motor y lograr una condición de estabilidad en las revoluciones del motor en ralentí, por lo que cuando se abre el papalote en el cuerpo de aceleración se crea un condición de inestabilidad que revoluciona el motor al no contar con el módulo que regula la mezcla estequiométrica y mantiene la relación 14.7:1.

Conclusiones

El proceso de generación del UMSU se antojaba una labor complicada y llena de obstáculos; no por lo complicado del sistema, sino porque a experiencia del equipo de desarrollo en cualquier tarea que se realice sin una previa planeación y una metodología estructurada y clara: los alcances del proyecto tienden a divagar, los objetivos se estipulan sin bases o argumentos asertivos sobre lo que el mercado necesita, y lo más importante, el equipo tiende a vacilar entre decisiones críticas a lo largo de proyecto que dan como resultado, que el mismo quede muy alejado de lo que se deseaba en un principio. Por esta razón la exposición de una lluvia de ideas ayudó al equipo a discriminar los proyectos que parecerían prominentes pero que por falta de recursos, o falta de disponibilidad tecnológica, se convertirían en fundamentos con bases sólidas pero sin posibilidades de llevarse a la práctica.

Por esta misma razón fue de suma importancia, no solo seleccionar un proyecto que resultara satisfactorio bajo los estándares de la universidad, sino también generar una herramienta que comprendiera y se acoplara a las necesidades de un mercado selecto y exigente para evolucionar bajo los cambios de las demandas del mismo.

Realizar el estudio de mercado, aunque resultó una tarea laboriosa, se facilitó al tener las herramientas de la metodología de desarrollo, pues con la ayuda de entrevistas, encuestas y charlas casuales, se descubrió que gran parte de los estudiantes de diversas carreras de ingeniería están muy entusiasmados en poder continuar realizando proyectos de la índole del UMSU, o continuar aunque en sus respectivas carreras, formando un perfil de ingeniero automotriz. Fue con esta experiencia cuando el equipo vislumbró, que incluso varios alumnos desearían continuar con la optimización del UMSU hasta convertirlo en una herramienta didáctica capaz de compararse con

cualquiera del mercado pero diseñada y construida íntegramente por la comunidad de la UNAM.

Entrevistar a varios alumnos seleccionados al azar del mercado, consolidó lo que posteriormente se visualizaría como las necesidades generales del mercado, mismas que al interpretarse y procesarse de manera sistemática, dieron lugar a las especificaciones del producto. No fue suficiente conocer las características que el UMSU debería de tener para satisfacer los requerimientos del mercado, pues muchas de éstas resultaban simplemente inverosímiles o demasiado complicadas. Por esta razón fue imprescindible trabajar durante todo el desarrollo del producto de la mano con los usuarios finales para no alejarse de los requerimientos iniciales, por mucho que las suposiciones y criterios del equipo de desarrollo así lo convinieran. La premisa es clara; el éxito del proyecto está supeditado al nivel de satisfacción que el mismo le entregue al mercado.

Si bien comprender al mercado se llevó a cabo con tareas sistemáticas y dirigidas, el cómo generar un sistema que cumpliera las características estipuladas por las necesidades, condujo al planteamiento de muchas problemáticas sustentadas para resolverse. Utilizando el apalancamiento de productos existentes en el mercado, patentes públicas y soluciones de problemas similares para otros sistemas, el equipo de desarrollo examinó una gran cantidad de posibles soluciones, inclinándose por aquellas que de acuerdo a los criterios de selección, nutrieran al UMSU con características para satisfacer las necesidades, y que posteriormente se obtuviera un sistema sencillo de construir y económicamente viable.

Para poder estudiar un universo más amplio posibles soluciones, fue necesario no caer en críticas al momento de expresar las posibles ideas de soluciones, pues aunque las mismas parecieran inverosímiles, orillaban al raciocinio con fluencia y creatividad. Muchas de las soluciones fueron descartadas al poco tiempo de ser concebidas, pero gran parte de ellas se continuaron trabajando en bosquejos hasta que el equipo de desarrollo, con ayuda de la opinión de elementos críticos del mercado objetivo, seleccionó los conceptos más destacados y de entre ellos los ganadores. Dicha pluralidad de la selección se debe a que el UMSU se fragmentó en subsistemas para que las interfaces entre los mismos fuera la mínima posible y así resolver los

problemas más fácilmente.

Gracias a una adecuada planeación, se descubrió que los miembros del equipo de desarrollo resultaban escasos para poder completar los objetivos del proyecto en el tiempo estipulado, además de la insuficiente disponibilidad de tiempo de los integrantes para realizar sesiones de trabajo en jornadas completas diariamente. Aunado a esto, el tiempo invertido para la investigación de conceptos, y fundamentos de las tecnologías y conceptos nuevos usados en el proyecto fue un factor que frenó por etapas el avance del equipo. Por esta razón se planteó la extensión del tiempo de entrega del proyecto y se delimitaron los alcances a lo estipulado inicialmente, permitiendo al equipo de desarrollo enfocarse en tareas de mejor calidad, e ir de acuerdo con el plan de trabajo.

Otro de los contratiempos que se figuró, fue que a pesar de contar con una vasta cantidad de herramientas en la universidad, por limitaciones en las licencias estudiantiles o por falta de disponibilidad en las herramientas de maquinado, el equipo tendría que disponer de activos externos a la institución para generar los diseños y prototipos.

Posterior a la fase de desarrollo del UMSU el equipo construyó un prototipo funcional para evaluar los resultados de los conceptos generados. Dicho prototipo intenta acercarse en funcionalidad al diseño teórico, sin embargo para efectos de pruebas y funcionalidad del motor, carece de ciertas características que en el momento no se consideraron oportunas para el objetivo de un prototipo. Para gran satisfacción del equipo de desarrollo, en el prototipo los subsistemas se acoplaron sin mayores adversidades que la necesidad de reajustar el calibre del cable del sistema eléctrico de encendido del motor, pues su espesor generaba mucha resistencia eléctrica sobrecalentando el sistema y orillándolo a un riesgo inminente de incendio. Los montantes del motor se tuvieron que alinear a las especificaciones y diseños del fabricante, pues el equipo consideró que en lugar de realizar un diseño propio, para efectos de pruebas las especificaciones de los componentes OEM permitirían amortiguar mejor las vibraciones del motor. No obstante se propone que con el UMSU se puedan hacer diseños de soportes para motor, desempeño de transmisiones, y estudiar así las características mecánicas de los mismos diseños. Otra característica que

el equipo de desarrollo no concibió en el prototipo por la simplicidad en la construcción, fue la movilidad y universalidad del mismo, pues el concepto está desarrollado para trasladarse y adaptar a él distintos tipos de motores. Si bien el prototipo no permitió comprobar estas características, la ingeniería asistida por computadora y los resultados en los análisis de la estructura sustentan la fiabilidad y funcionalidad del diseño teórico propuesto.

En el prototipo, el control del motor se implementó de forma más sencilla, pues a diferencia del sistema mecánico, los cambios en éste resultaron más ágiles y con menos o ninguna implicación económica. Con algunas modificaciones en la codificación del sistema, se puso en marcha el motor a velocidades constantes entre las 1000 y las 2000 RPM. Si bien se comprenden los motivos que influenciaban el comportamiento del motor, no se logró normalizar la velocidad del motor a velocidades por debajo de las mil RPM o al punto de ralentí propio del motor, suceso que se ocasiona por la falta de control sobre el flujo de aire a la entrada del motor, ya que la relación aire combustible no es la más adecuada, otro factor que afectó este resultado es la codificación del módulo de ignición, que por falta de instrumentos, no se pudo aplicar ingeniería de reversa sobre dicho módulo. El equipo de desarrollo está consciente de que con la implementación de más sensores o actuadores, como la válvula de aire IAC, sensor de oxígeno o el sensor de flujo aire, el control del motor se efectuará de forma más efectiva; incluso para la afinación y desempeño de motores para otros proyectos de la facultad como Fórmula SAE o Baja SAE. Para lograr integrar más sensores o actuadores al UMSU, el diseño del mismo se planteó con una arquitectura modular, permitiendo que las alteraciones realizadas a las partes deseadas en el sistema al integrar nuevos elementos de control, se integran sin modificar completamente el UMSU.

Para dichas alteraciones, el equipo de desarrollo recomienda ampliamente que en ejecuciones posteriores de optimización del UMSU, se integren elementos físicos como una transmisión o un dinamómetro para aumentar el espectro de mediciones realizables con la plataforma, y no conformarse con medir el rendimiento del motor. Asimismo el equipo considera que realizar más pruebas e iteraciones sobre el UMSU podría lograr que se prescindiera de elementos redundantes que no mejoran la seguridad

y pueden ocasionar puntos de falla.

Por otro lado, el equipo desarrolló el software de control basado en la plataforma de programación gráfica Labview: usando la plataforma cRIO. Una tecnología muy robusta con velocidades de procesamiento muy altas, sin embargo por el costo de la plataforma se recomienda como de uso experimental. En la siguiente etapa del proceso de evolución del proyecto, se recomienda usar una tecnología más económica y accesible, como podría ser un Arduino, PIC o cualquier microcontrolador accesible, cuyo propósito sea única y exclusivamente controlar el motor. Pero sin perder de vista que la complejidad en el nuevo desarrollo de un sistema, podría ocasionar deficiencias en objetivos más ambiciosos o en la adición de nuevos módulos.

Una parte importante que el equipo de desarrollo no ha dejado de tener presente desde el inicio del desarrollo del sistema, es la documentación del proyecto, pues el presente trabajo expone el proceso suscitado de una metodología llevada a cabo, y explica los detalles de desarrollo del mismo sistema. Sin embargo, el equipo está consciente de que una vez que se aprueben los ensayos de prototipo con la ayuda de un grupo piloto, se hagan las modificaciones, y se lleve a cabo la producción del primer modelo, se debe precisar en la documentación del control de cambios y en un manual de operaciones vigente a la última fecha de actualización realizada en el sistema, así como también se recomienda generar una memoria técnica y una bitácora de operaciones cuando se realicen experimentos con el UMSU. Solo de esta forma futuras generaciones de usuarios podrán seguir el rastro y aportar mejoras al sistema.

La iteración entre las fases de desarrollo fue un punto clave para lograr un resultado satisfactorio en las pruebas, permitiendo que el equipo ampliara sus conocimientos en la materia, y demostrando también que sin importar lo complejo que pueda resultar un sistema, una correcta planeación y metodología de desarrollo pueden lograr que el mismo se lleve a cabo.

El siguiente paso que el equipo recomienda para el proyecto, es construir un primer modelo del diseño propuesto para verificar que las necesidades de los usuarios finales se cumplen, así como también verificar la rigidez estructural del mismo modelo con la implementación de motores con más peso, pues a menudo cuando un modelo

físico es construido y puesto en marcha, emergen áreas de oportunidad sobre el mismo y es la única forma de identificarlas. Posteriormente, en la parte del control del motor, se recomienda adicionar los módulos que controlen la entrada de aire al motor y realizar pruebas de aceleración y medir su desempeño a diferentes revoluciones.

Como experiencia de este proyecto, el equipo aprendió a aplicar muchos conocimientos adquiridos a lo largo de los 5 años de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, y a seguir una metodología de diseño con disciplina dando como resultado un diseño satisfactorio. A lo largo del proyecto surgieron dudas sobre conceptos que no se tenían claros o no se conocían; con esto el equipo asimiló que el ingeniero profesionalista de cualquier área debe mantenerse al día en cuanto a nuevas tecnologías, y estar consciente que hay una infinidad de conceptos y habilidades que no se alcanzan a desarrollar en la universidad, dada la vasta gama de especializaciones existentes, y que sólo podrá conocer a través del auto aprendizaje, el estudio de un diplomado o la realización de una maestría.

Bibliografía

- [1] Metals Handbook. Technical report, ASM International Handbook Committee, 1990.
- [2] 42 USC § 7521 - Emission standards for new motor vehicles or new motor vehicle engines. Technical report, Legal Information Institute, 2010. URL <http://www.law.cornell.edu/uscode/text/42/7521>. [Accesado 03-Dic-2012].
- [3] Información Estadística Facultad de Ingeniería. FI UNAM, 2010. URL <http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/estadisticas/estadisticas.php>. [Accesado 27-Feb-2013].
- [4] Acero Inoxidable - aisi 304 (fe/cr18/ni10). Good Fellow USA, 2010. URL <http://www.goodfellowusa.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>. [Accesado 28-Feb-2013].
- [5] Ni CompactRIO High-Performance Real-Time Controllers. National Instruments, 2011. URL <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-201/lang/es>. [Accesado 14-Jul-2013].
- [6] A. Albert and Robert Bosch GmbH. Embedded World, Nürnberg. In *Comparison of Event-Triggered and Time-Triggered Concepts with Regard to Distributed Control Systems*, 2004.
- [7] Yunus Boles and A. Cengel. *Termodinámica*. McGrawHill, 2002.
- [8] Ebert Christof and Jones Capers. Embedded software: Facts, figures, and future. *IEEE Computer Society Press*, March 2009.

- [9] Javier Costas. motor_tsi122.jpg, 2007. URL <http://www.motorpasion.com/tecnologia/volkswagen-landa-el-tercer-motor-tsi-de-122-cv>. [Accesado 24-Jun-2013].
- [10] Matt Cramer and Hoffmann J. *Performance Fuel Injection Systems*. HP Books, 1 edition, 2010.
- [11] Vidler Douglas. *Automotive Engine Performance*, page 254. Today's Technician, 2004.
- [12] Erick Eckermann. *World History of the Automobile*, pages 198–199. Society of Automotive Engineers, 2001.
- [13] Dave Farmer. GoMog Weights and Sizes, 2012. URL <http://www.gomog.com/allmorgan/engineweights.html>. [Accesado 27-Feb-2013].
- [14] Roger Farrarons. 003_small.jpg, 2011. URL <http://www.fialdia.com/12729/motor-v-motor-linea/>. [Accesado 19-Jun-2013].
- [15] *Motor de combustión interna, Primera parte*. General Motors.
- [16] *Inyección de combustible*. General Motors México, 1996. Curso #160-03-20.
- [17] Sergio Gómez González. *El gran libro de SolidWorks*. Marcombo, 1 edition, 2010.
- [18] Hemmings. Hemmings Motors News, 2011. URL http://www.hemmings.com/hmn/stories/2011/08/01/hmn_feature20.html. [Accesado 11-Ago-2013].
- [19] K and N Engineering. enginetest1.jpg, 2008. URL <http://www.knfilters.com/images/press/enginetest1.jpg>. [Accesado 15-Jun-2013].
- [20] G. Leen and D. Heffernan. Expanding Automotive Electronic Systems. *IEEE Computer*, 35(1):88–93, January 2002.
- [21] AJ Martyr and MA Plint. *Engine Testing*. Butterworth Heinemann, 3 edition, 2007.

-
- [22] Karim Nice. How car computers work, 2011. URL <http://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/trends-innovations/car-computer8.htm>. [Accesado 03-Dic-2012].
- [23] Edward F. Obert. *Motor de combustión interna. Análisis y aplicaciones*. C.E.C.S.A., 1970.
- [24] Tim Persoons. [hidyn_teststand_hires.jpg](http://www.mech.kuleuven.be/ice/hardware/hidyn/images/hidyn_teststand_hires.jpg), 2005. URL http://www.mech.kuleuven.be/ice/hardware/hidyn/images/hidyn_teststand_hires.jpg. [Accesado 15-Jun-2013].
- [25] Jay Storer and Haynes J. *General Motors Haynes Repair Manual*. Haynes, 2005.
- [26] Karl Ulrich and Eppinger S. *Product Design and Development*. McGrawHill, 4 edition, 2008.

Apéndice

Apéndice A

Pronóstico de oportunidades

Proyecto	Áreas de oportunidad de los productos	Observaciones Tecnológicas		Estilo de vida hacia el producto	Impacto hacia la sociedad
		Innovaciones tecnológicas	Implicaciones de la tecnología		
Sistema de estacionamiento autoasistido para vehículos automotores	Espacios de maniobra considerablemente amplios	Alta implicación de desarrollo tecnológico por parte de las armadoras	Modificación de las leyes de tránsito Involucrar a los productores de automóviles a incluir esta tecnología desde el diseño del automóvil	Uso cotidiano varias veces al día	Prevención de golpes suaves a moderados Prevención de arrollamiento a infantes o animales pequeños
Sistema de separación y destrucción de botellas de vidrio	Tiempo de separación grande	Separan mayor cantidad de materiales	Formulación de nuevas leyes y estatutos para el reciclaje Educación de la sociedad para el uso de estos dispositivos	Uso cotidiano varias veces al día	Mejoramiento ambiental Facilitación en la separación de elementos reciclables Protección al medio ambiente Prevención de reutilización de botellas originales para bebidas adulteradas
Sistema eléctrico/electrónico de automóvil de competencia bajo estándares fórmula SAE	Diseño de alambrado poco eficiente, mucho material involucrado, organización en el ruteo deficiente	los sistemas embebidos permiten cada vez utilizar menos rutas de comunicación para controlar más sistemas	Acordar con los distintos equipos de desarrollo para tomar en cuenta este sistema al diseñar los otros sistemas	Uso en un ambiente deportivo y de competencia	Avance de la UNAM en los lugares de la competencia SAE
Robot de seguridad con detectores de movimiento y elementos de protección balística	Equipo altamente restringido, usado para aplicaciones militares y poco accesible	Detectores de movimiento y seguidores infrarrojos de alta tecnología con estándares militares	Formulación de leyes de seguridad Delimitación de sistema de defensa Regulación en la venta y uso del producto	Uso en condiciones de alta seguridad y protección	Protección Civil contra atentados a la salud y a la integridad física
Cama ortopédica inteligente	Camas con variaciones de posición, sin inteligencia involucrada	Electrónica de potencia y sistemas de control cada vez más accesibles	Cadena de asesores en mantenimiento para este producto Distribución de piezas de refacción al alcance de los consumidores	Uso diario a partir de la adolescencia	Terapia y solución a problemas ortopédicos recurrentes al dormir en una posición inadecuada
Ambiente de monitoreo y vigilancia para conductores en situaciones de alerta o cansancio	Sistemas poco accesibles	Sensores de impulsos eléctricos con amplificadores de señales	Aceptación de los conductores en caso de que las leyes de tránsito determinen que es un elemento de seguridad obligatorio El ambiente se vuelva demasiado intrusivo en la forma de conducción del individuo	Uso en condiciones donde el conductor tenga que realizar viajes largos o tarde	Prevención de accidentes por causas de cansancio Asistencia al conductor en caso de entrar en una situación de emergencia
Sistema de control para un motor de combustión interna	ECUs poco modificables, con código protegido y de acceso limitado	Microcontroladores más veloces y con mayor procesamiento en paralelo	Cooperación Industria privada- Institución educativa para la transferencia de conocimiento del funcionamiento del motor Correlación entre distintos sistemas para el correcto control del motor	Uso varias veces durante el semestre escolar o en talleres extracurriculares	Participación de los alumnos en el sistema de control de un motor Herramienta didáctica para la comprensión de este tipo de motores Instrumento de pruebas para desarrollo de tecnologías para la mejora en la eficiencia de motores
Control de un robot bípedo para aplicaciones industriales	Robots pesados y de difícil manipulación	Microcontroladores más veloces con mayor capacidad y ambientes de desarrollo orientados a control Desarrollo de materiales ligeros	Entender la situación de cada persona para el desarrollo de cada Robot	Uso diario durante toda la vida	Exoesqueleto de asistencia a individuos con capacidades diferentes para recuperar la movilidad

Sugerencias con los productos actuales	Observaciones Tecnológicas		Priorización de Oportunidades			Trabajo de la mano con el cliente
	Detalles de los productos de la competencia	Estatus de las tecnologías emergentes	Liderazgo en Tecnología	Liderazgo en Producción	Tamaño de Mercado	
Sistema más rápido Que no necesite interacción con el conductor Estacionamiento efectivo en espacios reducidos	Sistemas patentados por las armadoras de autos Lentos y requieren gran intervención por parte del usuario	Sistemas de radar efectivos y suficientemente veloces así como cada vez más económicos Autos más inteligentes y con mayor capacidad de controlar distintos elementos en paralelo Avance de los sistemas embebidos así como de los microcontroladores Teorías de lógica difusa	Poco, insuficientes sistemas de prueba	Deficiente, prototipos alejados del modelo real	Chico-Mediano Armadoras de autos Conductores decididos a modificar su automóvil	Alto, cualquier conductor es un usuario
Sistema con recepción de más basura	La botellas tienen que ser agregadas individualmente y de forma pausada El usuario pierde mucho tiempo haciendo la separación de basura, lo hace porque recibe dinero a cambio	Sensores ópticos y más confiables Sensores capacitivos de alta tecnología Microcontroladores más veloces	Mediano, el uso de estas tecnologías se conoce y con algo más de investigación se puede dominar	Bajo, la manufactura requiere herramientas y materiales especiales	Mediano-Grande, Gobierno, tiendas de abarrotes, Centros comerciales y supermercados	Medio-Alto, muchas personas usan envases de vidrio
Conexiones más eficientes y con menos material, así como con menos puntos de falla	Sistemas eficientes y tecnologías de transmisión de datos avanzadas	Unidades de control programables y más veloces Sistemas de telecomunicación de última generación	Alto, experiencia en el segmento de construcción de autos de carreras para competencia SAE	Mediano, se necesita la finalización del auto de competencia para poder hacer las pruebas en este, es difícilmente replicable a otros automóviles	Chico- Alumnos inscrito en la competencia Fórmula SAE	Bajo- usuario final definido por una temporada al año
Robots más económicos que permitan el uso de armas no letales así como un alto grado de reconocimiento de individuos	Para uso experimental y militar únicamente	Microcontroladores muy veloces Sensores de movimiento y elementos de reconocimiento Armas aturdidoras de alto impacto e implicaciones en la salud menores	Bajo-Mediano, los sistemas de reconocimiento están en fase de desarrollo, confiar la integridad física de una persona a un robot es un paso arriesgado	Bajo, la manufactura debe ser de calidad suprema y no debe haber errores que pongan en peligro la vida de una persona	Mediano, Gobierno, empresas de seguridad, Bancos, Casas de Seguridad, etc.	Bajo-Medio, Tanto el cliente como el usuario final son de difícil localización
Cama más accesible, que ocupe menos espacio y menos compleja para tareas de mantenimiento más sencillas	Camas para hospitales, no cuentan con inteligencia artificial, así como también incluyen un sistema de movimiento complejo y caro	Elementos de electrónica de potencia confiable Microcontroladores de gran capacidad Ambientes de programación más poderosos y algoritmos de inteligencia artificial sofisticados	Medio-Alto, Programación de microcontroladores, algoritmos de IA y Sensores de presión, Investigación en sistemas de electrónica de potencia, servomotores, MOSFET, etc.	Bajo, al ser un producto con certificación ortopédica y ergonómico tiene que pasar por estándares de salud, la manufactura debe ser de muy específica	Grande- Adultos con problemas ortopédicos al dormir y de columna dorsal	Alto, todas las personas
Sistema adaptable a cualquier vehículo Sistema genérico que no sea propio de la marca	Se encuentra solamente en autos premium de las marcas más exclusivas Materiales y tecnologías muy confiables pero de difícil reparación y manutención No son adaptables a cualquier vehículo y tampoco permiten gran control por parte del usuario	Sensores biomédicos de alto espectro Amplificadores de señales nerviosas Algoritmos de interpretación de señales corporales	Medio-Alto, Programación de Algoritmos de reconocimiento de señales nerviosas, Electrónica operacional en amplificadores y filtros, Incorporación de sistemas biomédicos	Alto, Manufactura poco complicada, adaptación a cualquier vehículo sin alteración en el funcionamiento del mismo	Grande- Conductores que hacen viajes por carreteras, grandes distancias, en horario nocturno, cansados, o que transitan por zonas de la ciudad con altos índices delictivos. Armadoras de autos. Compañías de transportes, etc.	Alto, cualquier conductor es un usuario final
Sistema de control desarrollado por estudiantes específicamente para actividades didácticas Código abierto de acceso a cualquier estudiante, profesor e investigador Plataforma construida y replicada usando materiales y recursos asignados por la universidad	Unidades de control sencillas pero con código cerrado y patentado Imposible de modificar la información que contienen o el control de los elementos Las computadoras programables se venden a precios altos y solamente se pueden controlar aspectos típicos de competencia, no permiten adicionar elementos de control	Microcontroladores muy veloces, capaces de realizar tareas muy rápidamente Procesamiento en paralelo Programación de aplicaciones y sistemas en tiempo real	Alto, experiencia en la programación de microcontroladores, experiencia en el funcionamiento de motores de combustión interna, experiencia en circuitos de electrónica básicos y moderados, experiencia en circuitos integrados	Muy Alto, La universidad cuenta con todas las herramientas, materiales y dispositivos de control, así como con el equipo necesario y el motor para probar el correcto funcionamiento del sistema de control	Medio-Alto Universidades, alumnos, profesores, investigadores y talleres interesados en el entendimiento, desarrollo de motores y mejoras o tuneo en los ya existentes	Medio-Alto, el ambiente de desarrollo es académico y el entorno esta rodeado de alumnos profesores e investigadores
Control de un robot más complejo usando materiales accesibles	Producto elaborado y desarrollado únicamente en países desarrollados para la industria militar y biomédica	Microcontroladores muy veloces Algoritmos de control sofisticados	Medio, Experiencia en la programación de microcontroladores, Investigación en control avanzado	Bajo-Medio, manufactura complicada pero con acceso a las herramientas y materiales necesarias	Pequeño- Es un producto poco accesible para los consumidores	Bajo, Difícil disposición del tiempo de personas con capacidades diferentes

Apéndice B

Obtención e interpretación de las necesidades

Enunciado del cliente	Usuario1 Necesidad interpretada
El laboratorio de pruebas tendría que estar en un lugar cerrado	La plataforma de pruebas se puede manipular en un entorno cerrado
El banco se puede mover a diferentes lugares, los motores son más difíciles de mover	La plataforma de pruebas es móvil
Los alumnos deben de estar haciendo investigación, deben de ser de últimos semestres	La plataforma se puede operar por alumnos de últimos semestres
El banco debe aceptar cualquier tipo de motor	La plataforma de pruebas acepta cualquier tipo de motor
El alumno debe de tener toda la información con los resultados que avienta la consola	La consola de la plataforma entrega todos los resultados de las pruebas
La plataforma debe de tener una pantalla que arroje gráficos, coordenadas tablas datos en lugar de aguja	Los gráficos y mediciones se ven en una pantalla instalada en la plataforma
Te puedes llevar la información con una USB	La plataforma de pruebas cuenta con un puerto USB para exportar la información a una memoria flash
Quisiera llegar a una computadora dedicada en lugar de que cada alumno llegara con su computadora	La plataforma de pruebas cuenta con una computadora dedicada para gestionar los datos
Necesitaría que estuviera prendido una jornada estudiantil	La plataforma de pruebas puede operar en sesiones de una jornada escolar
Quisiera que fuera un ambiente seguro, funcional, robustez, ergonomía	La plataforma es segura La plataforma es funcional La plataforma es robusta La plataforma es Ergonómica
Yo necesito obtener la entropía, entalpía, probar la segunda ley del motor, torque, potencia, cantidad de aire en el escape, composición química de la mezcla, el ruido	La plataforma muestra la entropía del motor La plataforma muestra la entalpía del motor La plataforma permite probar la segunda ley de la termodinámica La plataforma mide el torque del motor La plataforma mide la potencia del motor La plataforma mide la cantidad de aire en el escape El UMSU mide la composición química de la mezcla El UMSU mide el ruido generado por el motor
El Soporte debería de estar en un taller con ventilación pero no a la intemperie	Usuario2 EL UMSU se opera en un ambiente con ventilación
Necesito mover el banco a l lugar donde esté trabajando	El UMSU no puede ser operada en un ambiente cerrado El UMSU es móvil El UMSU permite programar los inyectores
Necesito programar los inyectores, el software, la rigidez del motor, simular soportes para afectar la amortiguación, conectarle dispositivos relacionados a un banco de pruebas, pruebas de aceite	El UMSU permite monitorear la rigidez del motor El UMSU permite simular soportes de motor El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo El UMSU permite monitorear el aceite
Necesito adaptar varios tipos de motores al motor	El UMSU es universal El UMSU permite programar El UMSU es una herramienta de diseño automotriz
Espero aprender y practicar programación, diseño automotriz, las partes básicas del funcionamiento de un motor, procesos de manufactura y las prácticas de un alumno de 6 semestre	El UMSU demuestra el funcionamiento de un motor El UMSU permite al usuario entender conceptos de manufactura
Quiero una guía rápida de uso del sistema y además un manual completo y detallado	El UMSU cuenta con una guía rápida de instalación y uso El UMSU cuenta con un manual extenso de instrucciones
Me gustaría que 3 personas estuviéramos trabajando en el banco simultáneamente y máximo 6 personas pudieran participar en las pruebas	El UMSU requiere de 3 personas para su manipulación
Quiero llegar al motor y que haya un servidor donde el usuario inicia sesión y se guardan todas sus configuraciones, se crea una carpeta con hora y fecha y los archivos y reportes generados	El UMSU está conectado a un servidor El servidor del UMSU puede almacenar varias sesiones de varios usuarios El UMSU guarda los archivos y reportes generados en la sesión del usuario por fecha y hora
La interfaz debe ser muy sencilla, me gustaría que sea una pantalla con un botón de ayuda donde te indica qué parámetros hay que capturar en cada campo, también me gustaría que la plataforma te fuera llevando por el proceso	El UMSU cuenta con una Interfaz sencilla La Interfaz del UMSU tiene un botó de ayuda que indica qué colocar en cada campo La Interfaz del UMSU tiene un wizard que te lleva por el proceso de configuración
Necesito que este prendido por lo menos una sesión de dos a tres horas para poder hacer las pruebas y mediciones	El UMSU puede estar funcionando hasta 3 horas
Quiero que me ayude a conocer y desarrollar elementos para mecanismos, que pueda enseñarme conceptos de programación y manejo y procesamiento de señales	El UMSU permite practicar conceptos de programación El UMSU permite practicar conceptos de procesamiento de señales
Necesitaría también contar con lentes de seguridad protectores de oídos, ropa de manga larga y zapatos de seguridad	El UMSU requiere de lentes de seguridad El UMSU requiere de protectores de oídos El UMSU requiere de ropa de manga larga El UMSU requiere de zapatos de seguridad
Quisiera que fuera un ambiente Seguro, Robusto, Funcional y Ergonómico	El UMSU es Seguro El UMSU es Robusto El UMSU es Funcional El UMSU es Ergonómico
Con la plataforma necesito obtener el rendimiento de combustible, la eficiencia del motor y la temperatura	El UMSU permite obtener el rendimiento de combustible El UMSU permite medir la eficiencia del motor El UMSU permite obtener la temperatura del motor en tiempo real
El banco debe estar en un lugar con mucho espacio para poder hacer pruebas	Usuario3 El UMSU se opera en lugares amplios
Necesito estar cambiando de posición constantemente y también necesito acceso al motor para manipularlo	El UMSU permite el acceso al motor fácilmente y por distintos lugares
Quiero llevar el banco de pruebas a un lugar distinto, de preferencia donde tengo el motor que voy a probar	El UMSU es móvil
Tiene que ser útil para ingenieros mecánicos y en general de la DIMEI	El UMSU se puede operar por ingenieros mecánicos El UMSU se puede operar por ingenieros Industriales El UMSU se puede operar por ingenieros Mecatrónicos
El banco debe ser un complemento de la teoría en clases vistas a partir de 6 semestre	El UMSU es operado por alumnos a partir de 6 semestre
El usuario inexperto puede usar el banco pero no debe tener acceso al motor	El usuario inexperto aprende del UMSU El usuario inexperto no tiene acceso al UMSU

Enunciado del cliente	Usuario3 Necesidad interpretada
<p>Me gustaría, una vez teniendo experiencia poder mover o controlar el múltiple de admisión, así mismo los mecánicos y electrónicos puedan configurar la computadora en caso de ser inyección electrónica, En general el usuario puede tener acceso a varias cosas El soporte debe aceptar varios tipos de motor pero estar acotado para estandarizarlo y volverlo menos complicado</p>	<p>EL UMSU permite modificar el múltiple de admisión EL UMSU permite configurar la computadora del motor EL UMSU permite controlar la inyección electrónica EL UMSU permite al usuario acceder a varios accesorios EL UMSU permite un número limitado de motores</p>
<p>El usuario tiene que tener antecedentes en termodinámica, fluidos, máquinas térmicas, instrumentación</p>	<p>EL UMSU requiere de conocimientos en termodinámica EL UMSU requiere de antecedentes de fluidos EL UMSU requiere de conocimientos en máquinas térmicas EL UMSU requiere de conocimientos en instrumentación EL UMSU requiere 3 personas para su operación</p>
<p>El banco debe operar con 3 personas Me gustaría que el banco pudiera ser monitoreado y manipulado por hasta 6 personas, que estén tomando mediciones</p>	<p>EL UMSU es monitoreado máximo por 6 personas EL UMSU permite medir el torque EL UMSU permite medir la energía disipada EL UMSU permite medir el calor</p>
<p>Las mediciones que necesito son torque, energía, calor, potencia en distintos embragues,</p>	<p>EL UMSU permite medir la potencia a distintos embragues EL UMSU permite adaptar una transmisión al motor EL UMSU indica el volumen de aire consumido EL UMSU permite medir la calidad de la combustión EL UMSU permite operar los múltiples de admisión</p>
<p>Quisiera poder adaptarle una transmisión al motor mientras está en el banco de pruebas Requiero también que el motor me indique el volumen de aire y medir que tan bien se está quemando el combustible Quiero poder operar los múltiples de admisión Cuando aprenda a usarlo me gustaría tener un manual muy extenso que explique cada una de las funciones para irlo leyendo mientras se está operando el banco</p>	<p>EL UMSU cuenta con un manual de instrucciones muy extenso y detallado EL UMSU cuenta con una bitácora de operaciones La bitácora del UMSU registra las condiciones iniciales y finales La bitácora del UMSU registra las mediciones que se tomaron La bitácora del UMSU la captura la computadora EL UMSU cuenta con una interfaz digital sencilla de operar</p>
<p>Cuando se realicen sesiones de uso de la plataforma quisiera tener una bitácora donde se documente todo lo que se llevó a cabo ese día con condiciones iniciales y finales, mediciones, que en general sea muy completa pero no sea tediosa de llenar, sino los usuarios no la llenarían Para operar la plataforma me gustaría contar con una interfaz digital que sea muy sencilla de manipular pero a la vez muy completa Dentro de la plataforma la ECU debería de tener una posición muy cómoda que me permita conectar y desconectar dispositivos Se me hace más útil llegar con mi propia computadora y conectarme a la plataforma a que existiera una computadora dedicada al banco de pruebas</p>	<p>La ECU está colocada en una posición cómoda y de fácil acceso El puerto de conexión de la ECU es resistente EL UMSU permite al usuario conectar su propia computadora para controlar el motor EL UMSU cuenta con un puerto de conexión para una PC portátil La ignición del motor es sencilla La ignición del motor consiste en un solo paso EL UMSU controla el chicote de aceleración</p>
<p>El arranque del motor considero que debería de ser sencillo con un solo paso No quisiera tener que estar preocupándome con detalles mecánicos como el chicote o las válvulas, el banco de pruebas ya tiene que considerar estos parámetros El banco debería de estar operando continuamente por lo menos 2 horas, considero que una sesión se puede extender máximo 3 hrs Necesito que el banco sea un complemento de la teoría vista en clase y a su vez me permita entender más allá de los motores así como poder entrar a los componentes más sofisticados y entender como funcionan</p>	<p>EL UMSU puede estar funcionando por periodos máximos de 2 a 3 hrs EL UMSU es un complemento de la teoría vista en clase EL UMSU permite al usuario entender acerca de motores EL UMSU permite comprender los componentes más sofisticados del motor EL UMSU complementa proyectos extracurriculares EL UMSU complementa al equipo de Fórmula SAE EL UMSU complementa al equipo de ECOSHELL El UMSU complementa al equipo de Minibaja EL UMSU complementa a los ingenieros automotrices EL UMSU permite al usuario generar código nuevo EL UMSU le permite al operador modificar ciertas características EL UMSU le permite al operador actualizar y adicionar las funciones actuales EL UMSU requiere de lentes de seguridad EL UMSU requiere de orejeras EL UMSU requiere de guantes de seguridad El UMSU requiere de overol de trabajo EL UMSU requiere de batas de laboratorio EL UMSU requiere botas de ingeniería EL UMSU es Seguro EL UMSU es robusto EL UMSU es funcional EL UMSU es ergonómico</p>
<p>La plataforma de pruebas debería estar pensada para proyectos extracurriculares como son SAE, ECOSHELL, Minibaja y en general estos proyectos que ayudan a generar ingenieros automotrices</p>	<p>EL UMSU complementa a los ingenieros automotrices EL UMSU permite al usuario generar código nuevo EL UMSU le permite al operador modificar ciertas características EL UMSU le permite al operador actualizar y adicionar las funciones actuales EL UMSU requiere de lentes de seguridad EL UMSU requiere de orejeras EL UMSU requiere de guantes de seguridad El UMSU requiere de overol de trabajo EL UMSU requiere de batas de laboratorio EL UMSU requiere botas de ingeniería EL UMSU es Seguro EL UMSU es robusto EL UMSU es funcional EL UMSU es ergonómico</p>
<p>Si tengo tiempo disponible y necesito que la plataforma sea más versátil pudiera generar código nuevo o modificar las características actuales para mejorar las funcionalidades de la plataforma</p>	<p>EL UMSU le permite al operador modificar ciertas características EL UMSU le permite al operador actualizar y adicionar las funciones actuales EL UMSU requiere de lentes de seguridad EL UMSU requiere de orejeras EL UMSU requiere de guantes de seguridad El UMSU requiere de overol de trabajo EL UMSU requiere de batas de laboratorio EL UMSU requiere botas de ingeniería EL UMSU es Seguro EL UMSU es robusto EL UMSU es funcional EL UMSU es ergonómico</p>
<p>Es importante considerar como equipo de trabajo Lentes de seguridad, orejeras, guantes, overoles de trabajo, batas y botas sobre todo al momento de instalar un motor en la plataforma o cambiar el banco de pruebas de posición</p>	<p>EL UMSU requiere de lentes de seguridad EL UMSU requiere de orejeras EL UMSU requiere de guantes de seguridad El UMSU requiere de overol de trabajo EL UMSU requiere de batas de laboratorio EL UMSU requiere botas de ingeniería EL UMSU es Seguro EL UMSU es robusto EL UMSU es funcional EL UMSU es ergonómico</p>
<p>El banco debe ser principalmente seguro, robusto, funcional y ergonómico en ese mismo orden</p>	<p>EL UMSU es Seguro EL UMSU es robusto EL UMSU es funcional EL UMSU es ergonómico</p>
<p>El banco me gustaría operarlo en un ambiente lejos de oficinas, abierto por el ruido y que no interrumpa las labores de la comunidad estudiantil</p>	<p>Usuario4 EL UMSU se opera lejos de oficinas EL UMSU se opera en un ambiente abierto EL UMSU es poco ruidoso y se opera lejos de las aulas de clase EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales EL UMSU contamina muy poco EL UMSU afecta poco el aire que respiran los estudiantes EL UMSU se puede operar con conceptos de últimos semestres EL UMSU se opera con conocimientos básicos en Mecatrónica EL UMSU se encuentra en un lugar fijo EL UMSU permite varios tipos de motor EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>
<p>EL ambiente tiene que tener regularización de emisiones para no contaminar el aire que respiran los alumnos</p>	<p>EL UMSU se opera lejos de oficinas EL UMSU se opera en un ambiente abierto EL UMSU es poco ruidoso y se opera lejos de las aulas de clase EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales EL UMSU contamina muy poco EL UMSU afecta poco el aire que respiran los estudiantes EL UMSU se puede operar con conceptos de últimos semestres EL UMSU se opera con conocimientos básicos en Mecatrónica EL UMSU se encuentra en un lugar fijo EL UMSU permite varios tipos de motor EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>
<p>El usuario debería tener conceptos de mecatrónica que tengan nociones de materias de 8 semestre en adelante</p>	<p>EL UMSU se opera lejos de oficinas EL UMSU se opera en un ambiente abierto EL UMSU es poco ruidoso y se opera lejos de las aulas de clase EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales EL UMSU contamina muy poco EL UMSU afecta poco el aire que respiran los estudiantes EL UMSU se puede operar con conceptos de últimos semestres EL UMSU se opera con conocimientos básicos en Mecatrónica EL UMSU se encuentra en un lugar fijo EL UMSU permite varios tipos de motor EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>
<p>La plataforma es mejor si está estática en un lugar designado y es el motor el que se instala en la plataforma permitiendo así varios tipos de motores</p>	<p>EL UMSU se encuentra en un lugar fijo EL UMSU permite varios tipos de motor EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>
<p>Necesito que la plataforma me permita complementar las materias de mecánica automotriz, transformación de energía, dinámica de maquinaria, control y que se pueda mejorar el rendimiento</p>	<p>EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>
<p>El motor no debe de poder modificarse porque es muy difícil lograr esto Requiero que el manual sea muy extenso y sobre todo esté en formato digital para que al necesitar buscar una cosa en específico el buscador del programa me ayude a encontrarlo</p>	<p>EL UMSU permite hacer modificaciones al motor EL UMSU cuenta con un manual extenso y detallado EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones</p>

Enunciado del cliente	Usuario4 Necesidad interpretada
Requiero medir el par motor, las revoluciones por minuto la cantidad de gases que saca la combustión, los monóxidos de carbono, el oxígeno, la eficiencia del motor, así como un depósito para medir el consumo del motor	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU permite medir el par del motor EL UMSU permite medir las revoluciones por minuto EL UMSU permite medir las cantidades de gases que saca la combustión EL UMSU permite medir los monóxidos de carbono EL UMSU permite medir la eficiencia del motor EL UMSU permite medir el consumo de combustible y aire del motor
Todas las mediciones deben de ser presentadas por la computadora Me gustaría que el motor se pudiera manipular con una sola persona incluso que máximo dos personas pudieran estar involucradas en la manipulación del motor Quisiera guardar todas las mediciones en una hoja de cálculo y ésta me permita extrapolar las mediciones a programas como matlab. El control del motor debería de ser a través de una computadora dedicada con puerto USB para sacar la información con una memoria flash La interfaz debería de ser una GUI donde puedo seleccionar de entre varias variables para medir Cuando tenga una urgencia, y la plataforma sea lo suficientemente flexible yo le dedicaría algo de tiempo en desarrollar nuevo código para mejorarla y así beneficiaría a otros proyectos Los elementos de seguridad que considero necesarios para usarse con la herramienta son un extintor, un botón de paro de corriente al motor	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU tiene una computadora que presenta las mediciones EL UMSU se opera con una sola persona EL UMSU puede operarse máximo con dos personas EL UMSU genera reportes y los guarda las mediciones en una hoja de cálculo EL UMSU genera archivos que se pueden extrapolar a Matlab EL UMSU cuenta con una computadora dedicada para el control La computadora del UMSU tiene un puerto USB para almacenar los archivos en un USB La interfaz del UMSU permite elegir de entre varias variables para medir EL UMSU permite ser reprogramado y mejorado para futuros proyectos EL UMSU requiere tener un extintor dedicado EL UMSU tiene un botón de corta corriente
como prioridad establecería que el banco debe de ser seguro, Robusto, Funcional, y Ergonómico en este orden	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU es seguro El UMSU es Robusto EL UMSU es Funcional EL UMSU es ergonómico EL UMSU muestra la calibración del motor EL UMSU muestra los tiempos del motor
Yo quisiera obtener del motor factores como la calibración, los tiempos el motor, como afectan distintas variables al motor y llevar a cabo la teoría vista en clase en el motor	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU muestra como afectan las variables al motor EL UMSU es un complemento de la teoría vista en clase EL UMSU se puede usar en aplicaciones automotrices
Ojalá el banco de pruebas se pudiera usar para aplicaciones automotrices, en la industria por ejemplo en distintos países para calibrar un motor cuando llega a una localidad nueva	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU permite desarrollarse en la industria EL UMSU se utiliza para calibrar un motor de otro país
EL banco debería de operarse en un lugar cerrado con posibilidad de humedad y polvo en el ambiente	<p>Usuario5</p> <ul style="list-style-type: none"> EL UMSU se opera en lugares cerrados EL UMSU es resistente a la humedad EL UMSU es resistente al polvo en el ambiente
Quisiera que el banco permaneciera fijo la mayor parte del tiempo, pero pudiera reacomodarse o relocalizarse	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU es una plataforma fija EL UMSU se puede relocalizar fácilmente El UMSU cuenta con barreras de seguridad y protección
Me gustaría que el banco fuera seguro, que contara con barreras de protección, paros de emergencia, extintores, ventilación, conducción de gases	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU cuenta con paro de emergencia EL UMSU cuenta con un extintores EL UMSU conduce los gases a una zona segura EL UMSU cuenta con ventilación
Considero que los alumnos que deberían usar el banco son alumnos de ing. Mecánica y Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecánica EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecatrónica
Los alumnos que estarían usando el banco son alumnos de a partir de 8 semestres	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU es operado por alumnos a partir de 8 semestre
Quisiera que el alumno pudiera manipular tanto el software como la parte mecánica del banco	<ul style="list-style-type: none"> El usuario puede modificar la parte mecánica del UMSU El usuario puede modificar el software del UMSU EL UMSU acepta la adaptación de una transmisión
El banco debe estar pensado para adaptarse una transmisión a él y también otras máquinas que dependen del proyecto, incluso poder montar el motor en un vehículo prototipo	<ul style="list-style-type: none"> El UMSU acepta la adaptación de otras máquinas relacionadas al proyecto El UMSU permite adaptar el motor a un vehículo de pruebas
EL banco pudiera soportar también otro motor un V8	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU soporta motores V8 EL UMSU soporta motores V6
Al banco se le deben de poder adaptar dispositivos móviles para su funcionamiento EL alumno requerirá para manipularlo tener conceptos de combustión interna y sistema de control del motor	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU acepta la adaptación de dispositivos móviles El operador del UMSU tiene conceptos de combustión interna El operador del UMSU tiene conocimientos de control
La consola de administración debe de ser intuitiva y así permitir el autoaprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> La consola de administración del UMSU es intuitiva La consola de administración del UMSU permite el autoaprendizaje
El banco de pruebas debe estar funcionando de 10 a 20 minutos continuos	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU funciona por periodos continuos de 10 a 20 minutos EL UMSU requiere de guantes de seguridad para manipularlo
Para manipular el banco de trabajo se requieren utilizar guantes, goggles y protectores de oídos	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU requiere de goggles de seguridad EL UMSU requiere de protectores de oídos
Requiero que al banco de pruebas se le puedan adaptar y ensamblar más módulos de esta forma puede evolucionar	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU evoluciona con la adición de módulos
Pienso en un banco que sea muy seguro para el usuario y la gente de alrededor	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU es seguro para el usuario y la gente del entorno EL UMSU es un ensamble sencillo
Yo puedo hacer piezas y manufacturarlas por dicha razón el ensamble del banco tiene que ser sencillo y poderse reparar fácilmente, así mismo si requiere una refacción que ésta no sea muy costosa	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU permite reparaciones con piezas hechas en el laboratorio EL UMSU requiere refacciones poco costosas EL UMSU requiere de herramientas accesibles para su mantenimiento
EL banco de pruebas se debe de poder sustentar con un mantenimiento pensado a las herramientas con las que se cuenta, también se podrían adquirir otras herramientas no tan costosas	<ul style="list-style-type: none"> El mantenimiento del UMSU es sencillo Las herramientas de mantenimiento del UMSU son las mismas que se encuentran en un taller
EL motor debería de entregar al usuario las mediciones de potencia al freno, variación de los parámetros de operación	<ul style="list-style-type: none"> EL UMSU permite medir la potencia al freno EL UMSU permite comparar las variaciones en los parámetros de operación
La interfaz de control de motor debe de ser un software que permita al alumno modificar parámetros, este software deberá estar instalado en un equipo de computo	<ul style="list-style-type: none"> La interfaz de control del UMSU es un software El Software de la interfaz permite al usuario modificar distintos parámetros de operación
EL banco debe de ser un sistema modular que permita incrementar las capacidades del mismo y poder realizar nuevos experimentos	<ul style="list-style-type: none"> El software de la interfaz está instalado en un equipo de computo dedicado EL UMSU es un sistema modular EL UMSU permite incrementar capacidades conforme la adición de módulos

Enunciado del cliente	Usuario6 Necesidad interpretada
El banco debería operarse en un lugar cerrado	EL UMSU opera en lugares cerrados
Para guardar el banco necesitaría estar en una bodega y poder sacarlo a hacer las pruebas	EL UMSU se guarda en una bodega
Puedo contar con un lugar con ventilación y extintores para tener un espacio de trabajo seguro	EL UMSU es móvil
EL banco se debe de usar por alumnos y profesores	EL UMSU requiere de ventilación
Considero que un alumno de 9 a 10 semestre es el que debería e poder operar el banco de pruebas	EL UMSU cuenta con extintores
EL banco de pruebas es una herramienta para que el alumno entienda como funciona un motor de combustión y que pueda variar la mayor parte de los parámetros del motor, con la inyección de combustible , la chispa de aire. Y de esta forma el alumno puede comparar que pasa con un motor cuando manipulas una variable u otra	EL UMSU se opera por los alumnos
EL soporte del banco debe poder admitir cualquier tipo de motor	EL UMSU se opera por los profesores
EL banco se debe de poder instrumentar y hacerse universal y el banco debe medir la temperatura de aire y de aceite	EL UMSU se opera por alumnos a partir de 9 semestre
EL banco debe ser simple de manipular cuenta con un botón de encendido y apagado	EL UMSU es una herramienta didáctica
Se dispone de equipo de seguridad como son batas gogles botas extractor y salida de gasees	EL UMSU permite entender como funciona un motor de combustión
En mi opinión el banco debe de ser seguro pero principalmente robusto	EL operador puede variar la mayor parte de parámetros del motor con el UMSU
Requiero de un sistema de adquisición de datos por computadora que exprese los datos en una hoja de cálculo y al mismo tiempo genere gráficas	EL operador puede variar la inyección de combustible
Quisiera que tuviera incorporadas unas agujas analógicas para que sea más fácil de observar	EL operador puede variar la chispa de ignición
	EL UMSU compara el funcionamiento del motor respecto a la manipulación de las variables
	EL UMSU es universal
	EL UMSU se instrumenta a petición del usuario
	EL UMSU permite tomar la medición de la temperatura del aire
	EL UMSU permite tomar la medición de la temperatura de aceite
	EL UMSU cuenta con un sistema de encendido y apagado
	EL UMSU requiere de bata de seguridad
	EL UMSU cuenta con extractor de gases
	EL UMSU es seguro
	EL UMSU es robusto
	EL UMSU cuenta con un sistema de adquisición de datos
	EL UMSU expresa los valores y datos en una hoja de cálculo
	EL UMSU genera gráficas de los valores obtenidos
	EL UMSU cuenta con agujas analógicas

Apéndice C

Características de las necesidades del mercado y especificaciones del UMSU

I. Jerarquías y prioridades de las necesidades

Prioridad Jerarquía	Prioridad	Necesidad	Jerarquía
1	1	EL UMSU permite configurar la ECU	EL UMSU configura las características del motor
1	1	EL UMSU permite controlar la inyección electrónica	EL UMSU configura las características del motor
1	2	El UMSU controla el chicote de aceleración	EL UMSU configura las características del motor
1	2	EL operador puede variar la chispa de ignición	EL UMSU configura las características del motor
1	1	EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones	EL UMSU cuenta con manual de operación
1	2	El UMSU cuenta con una guía rápida de instalación y uso	EL UMSU cuenta con manual de operación
1	2	EL UMSU cuenta con un manual de instrucciones muy extenso y detallado	EL UMSU cuenta con manual de operación
1	1	La interfaz del UMSU permite elegir de entre distintas variables para medir	EL UMSU cuenta con una interfaz
1	1	La interfaz de control del UMSU es un software	EL UMSU cuenta con una interfaz
1	1	El Software de la interfaz permite al usuario modificar distintos parámetros de operación	EL UMSU cuenta con una interfaz
1	2	EL UMSU cuenta con una interfaz digital	EL UMSU cuenta con una interfaz
1!	1!	EL UMSU le permite al operador actualizar y modificar las funciones actuales	EL UMSU es configurable
1	1	EL usuario inexperto aprende del UMSU	EL UMSU es didáctico
1	1	EL UMSU permite al usuario entender acerca de motores	EL UMSU es didáctico
1	1	EL UMSU permite comprender los componentes más sofisticados del motor	EL UMSU es didáctico
1	1	EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz	EL UMSU es didáctico
1	1	EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control	EL UMSU es didáctico
1	1	La consola de administración del UMSU permite el autoaprendizaje	EL UMSU es didáctico
1	2	EL UMSU permite practicar conceptos de programación	EL UMSU es didáctico
1	2	EL UMSU permite practicar conceptos de procesamiento de señales	EL UMSU es didáctico
1	3	El UMSU permite al usuario entender conceptos de manufactura	EL UMSU es didáctico
1	3	EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía	EL UMSU es didáctico
1	3	EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria	EL UMSU es didáctico
1	1	EL UMSU cuenta con un sistema de encendido y apagado	EL UMSU es funcional
1	2	La ignición del motor consiste en un solo paso	EL UMSU es funcional

Prioridad	Prioridad	Necesidad	Jerarquía
1	1	EL UMSU evoluciona con la adición de módulos	EL UMSU es modular
1	2	EL UMSU acepta la adaptación de una transmisión	EL UMSU es modular
1	2	El UMSU acepta la adaptación de otras máquinas relacionadas al proyecto	EL UMSU es modular
1	3	El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo	EL UMSU es modular
1	3	EL UMSU acepta la adaptación de dispositivos móviles	EL UMSU es modular
1	1!	EL UMSU se instrumenta a petición del usuario	EL UMSU es modular
1	1	EL puerto de conexión de la ECU es resistente	EL UMSU es robusto
1	1	EL UMSU es resistente a la humedad	EL UMSU es robusto
1	1	EL UMSU es resistente al polvo en el ambiente	EL UMSU es robusto
1	1	EL UMSU requiere de lentes de seguridad	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU requiere de protectores de oídos	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU requiere tener un extintor dedicado	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU tiene un botón corta corriente	EL UMSU es seguro
1	1	El UMSU cuenta con barreras de seguridad y protección	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU cuenta con paro de emergencia	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU cuenta con ventilación	EL UMSU es seguro
1	2	El UMSU requiere de calzado de seguridad	EL UMSU es seguro
1	2	EL UMSU requiere de guantes de seguridad	EL UMSU es seguro
1	2	EL UMSU requiere de batas de laboratorio	EL UMSU es seguro
1	2	EL UMSU cuenta con extractor de gases	EL UMSU es seguro
1	3	El UMSU requiere de overol de trabajo	EL UMSU es seguro
1	3	EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales	EL UMSU es seguro
1	3	EL UMSU afecta poco el aire que respiran los estudiantes	EL UMSU es seguro
1	1	EL UMSU complementa a los ingenieros automotrices	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	2	EL UMSU complementa al equipo de Fórmula SAE	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	2	El UMSU complementa al equipo de Minibaja	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	2	EL UMSU permite desarrollarse en la industria	EL UMSU es una herramienta automotriz

Prioridad Jerarquía	Prioridad	Necesidad	Jerarquía
1	3	EL UMSU complementa proyectos extracurriculares	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	3	EL UMSU complementa al equipo de ECOSHELL	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	3	El UMSU permite adaptar el motor a un vehículo de pruebas	EL UMSU es una herramienta automotriz
1	1	EL UMSU soporta motores V8	EL UMSU es universal
1	1	EL UMSU soporta motores V6	EL UMSU es universal
2	2	EL UMSU permite un número limitado de motores	EL UMSU es universal
1	1	EL UMSU permite al usuario generar código nuevo	EL UMSU evoluciona
1	1	EL UMSU permite ser reprogramado y mejorado para futuros proyectos	EL UMSU evoluciona
1	1	El UMSU permite monitorear el aceite	EL UMSU mide las características de un motor
1	1	El UMSU permite obtener la temperatura del motor en tiempo real	EL UMSU mide las características de un motor
1	1	EL UMSU permite medir la energía disipada por calor	EL UMSU mide las características de un motor
1	1	El UMSU permite medir las revoluciones por minuto	EL UMSU mide las características de un motor
1	1	EL UMSU muestra la calibración del motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU mide la cantidad de oxígeno en el escape	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	El UMSU mide el ruido generado por el motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU permite obtener el rendimiento de combustible	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	El UMSU permite medir la eficiencia del motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU permite medir el torque	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU permite medir la potencia a distintas velocidades	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU indica el volumen de aire consumido	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU permite medir la potencia al freno	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU permite tomar la medición de la temperatura del aire	EL UMSU mide las características de un motor
1	2	EL UMSU cuenta con agujas analógicas	EL UMSU mide las características de un motor
1	3	EL UMSU muestra la entropía del motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	3	EL UMSU muestra la entalpía del motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	3	El UMSU permite monitorear la rigidez del motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	3	El UMSU permite simular soportes de motor	EL UMSU mide las características de un motor
1	3	EL UMSU muestra los tiempos del motor	EL UMSU mide las características de un motor

Prioridad Jerarquía	Prioridad Jerarquía	Necesidad	Jerarquía
1	1	EL UMSU puede estar funcionando por periodos máximos de 2 a 3 hrs	EL UMSU opera durante un periodo de tiempo definido
1	3	La plataforma de pruebas puede operar en sesiones de una jornada escolar	EL UMSU opera durante un periodo de tiempo definido
1	3	EL UMSU funciona por periodos continuos de 10 a 20 minutos	EL UMSU opera durante un periodo de tiempo definido
1	1	La plataforma de pruebas cuenta con una computadora dedicada para gestionar los datos	El UMSU se controla a través de una computadora
1	1	EL UMSU tiene una computadora que presenta las mediciones	El UMSU se controla a través de una computadora
1	2	EL UMSU permite al usuario conectar su propia computadora para controlar el motor	El UMSU se controla a través de una computadora
1	1	EL UMSU es operado por alumnos a partir de 6 semestre	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	1	EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecánica	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	1	EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecatrónica	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	1	EL operador del UMSU tiene conceptos en motores de combustión interna	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	1	EL UMSU se opera por los profesores	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	2	EL UMSU requiere de conocimientos en termodinámica	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	2	EL UMSU requiere de conocimientos en instrumentación	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	2	EL operador del UMSU tiene conocimientos de control	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	3	EL UMSU requiere de antecedentes de fluidos	EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
1	2	EL UMSU permite el acceso al motor fácilmente y por distintos lugares	EL UMSU separa al usuario del motor
1	3	EL usuario inexperto no tiene acceso al UMSU	EL UMSU separa al usuario del motor
1	1	Los gráficos y mediciones se ven en una pantalla instalada en la plataforma	La consola del UMSU muestra los resultados de las pruebas
1	1	La plataforma de pruebas cuenta con un puerto USB para exportar la información a una memoria	La información del UMSU se guarda
1	1	EL UMSU cuenta con una bitácora de operaciones	La información del UMSU se guarda
1	1	La bitácora del UMSU registra las condiciones iniciales y finales	La información del UMSU se guarda
1	1	La bitácora del UMSU registra las mediciones que se tomaron	La información del UMSU se guarda
1	2	El servidor del UMSU puede almacenar varias sesiones de varios usuarios	La información del UMSU se guarda
1	2	La bitácora del UMSU es capturada por la computadora	La información del UMSU se guarda
1	3	El UMSU guarda los archivos y reportes generados en la sesión del usuario por fecha y hora	La información del UMSU se guarda

Prioridad Jerarquía	Prioridad	Necesidad	Jerarquía
1	3	EL UMSU expresa los valores y datos en una hoja de cálculo	La información del UMSU se guarda
2	1	La ignición del motor es sencilla	EL UMSU es amigable
2	2	La consola de administración del UMSU es intuitiva	EL UMSU es amigable
2	3	La Interfaz del UMSU tiene un botón de ayuda que indica qué colocar en cada campo	EL UMSU es amigable
2	3	La Interfaz del UMSU tiene un wizard que te lleva por el proceso de configuración	EL UMSU es amigable
2	3	EL UMSU se guarda en una bodega	EL UMSU es móvil
2	1	EL UMSU requiere refacciones poco costosas	EL UMSU es un ensamble sencillo
2	1	El mantenimiento del UMSU es sencillo	EL UMSU es un ensamble sencillo
2	2	EL UMSU permite reparaciones con piezas hechas en el laboratorio	EL UMSU es un ensamble sencillo
2	2	Las herramientas de mantenimiento del UMSU son las mismas que se encuentran en un taller	EL UMSU es un ensamble sencillo
2!	3!	EL UMSU genera archivos que se pueden extrapolar a Matlab	EL UMSU interactúa con software de terceros
2	1	EL UMSU puede ser operada en un ambiente con ventilación	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	1	EL UMSU se opera en lugares amplios	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	2	El UMSU se manipula en un ambiente abierto	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	2	EL UMSU se opera lejos de oficinas y de las aulas de clase	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	2	EL UMSU es poco ruidoso	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	3	EL UMSU se manipula en un entorno cerrado	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	3	EL UMSU se encuentra en un lugar fijo	EL UMSU se manipula en una instalación de pruebas
2	1	EL UMSU es monitoreado máximo por 6 personas	EL UMSU se opera por un grupo de personas
2	2	EL UMSU puede operarse máximo con dos personas	EL UMSU se opera por un grupo de personas
2	3	EL UMSU requiere 3 personas para su operación	EL UMSU se opera por un grupo de personas
3	3	La ECU está colocada en una posición cómoda y de fácil acceso	EL UMSU es ergonómico

II. Métricas de las necesidades

Necesidad interpretada

EL UMSU se manipula en un entorno cerrado
 Los gráficos y mediciones se ven en una pantalla instalada en la plataforma
 La plataforma de pruebas cuenta con un puerto USB para exportar la información a una memoria flash
 La plataforma de pruebas cuenta con una computadora dedicada para gestionar los datos
 La plataforma de pruebas puede operar en sesiones de una jornada escolar
 EL UMSU muestra la entropía del motor
 EL UMSU muestra la entalpía del motor
 EL UMSU mide la cantidad de oxígeno en el escape
 El UMSU mide el ruido generado por el motor
 EL UMSU puede ser operada en un ambiente con ventilación
 El UMSU se manipula en un ambiente abierto
 El UMSU permite monitorear la rigidez del motor
 El UMSU permite simular soportes de motor
 El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo
 El UMSU permite monitorear el aceite
 El UMSU permite al usuario entender conceptos de manufactura
 El UMSU cuenta con una guía rápida de instalación y uso
 El servidor del UMSU puede almacenar varias sesiones de varios usuarios
 El UMSU guarda los archivos y reportes generados en la sesión del usuario por fecha y hora
 La Interfaz del UMSU tiene un botón de ayuda que indica qué colocar en cada campo
 La Interfaz del UMSU tiene un wizard que te lleva por el proceso de configuración
 EL UMSU permite practicar conceptos de programación
 EL UMSU permite practicar conceptos de procesamiento de señales
 EL UMSU requiere de lentes de seguridad

Metrica

Volumen banco
 Interfaz gráfica GUI
 Almacenamiento externo
 Sistema de control
 Tiempo de operación
 Sensor de entropía
 Sensor de entalpía
 Sensor de oxígeno
 Sensor de ruido
 Ventilador
 Volumen banco
 Rigidez
 Diferentes tipos de soportes
 Modular
 Sensor de temperatura aceite
 Didáctico
 Manual de usuario
 Almacenamiento de información
 Almacenamiento de información
 Botón ayuda
 Ayuda configuración
 Ambiente de desarrollo software
 Ambiente gráfico de instrumentación
 Lentes de seguridad

Necesidad interpretada

EL UMSU permite obtener el rendimiento de combustible
 EL UMSU permite medir la eficiencia del motor
 EL UMSU permite obtener la temperatura del motor en tiempo real
 EL UMSU se opera en lugares amplios
 EL UMSU permite el acceso al motor fácilmente y por distintos lugares
 EL UMSU es operado por alumnos a partir de 6 semestre
 EL usuario inexperto aprende del UMSU
 EL usuario inexperto no tiene acceso al UMSU
 EL UMSU permite configurar la ECU
 EL UMSU permite controlar la inyección electrónica
 EL UMSU permite un número limitado de motores
 EL UMSU requiere de conocimientos en termodinámica
 EL UMSU requiere de antecedentes de fluidos
 EL UMSU requiere de conocimientos en máquinas térmicas
 EL UMSU requiere de conocimientos en instrumentación
 EL UMSU requiere 3 personas para su operación
 EL UMSU es monitoreado máximo por 6 personas
 EL UMSU permite medir el torque
 EL UMSU permite medir la potencia a distintas velocidades
 EL UMSU indica el volumen de aire consumido
 EL UMSU cuenta con un manual de instrucciones muy extenso y detallado
 EL UMSU cuenta con una bitácora de operaciones
 La bitácora del UMSU registra las condiciones iniciales y finales
 La bitácora del UMSU registra las mediciones que se tomaron

Metrica

Sensor de flujo de combustible
 Dinamómetro/sensor temperatura
 Sensor de temperatura agua
 Volumen del banco
 Accesibilidad
 Habilidad técnica
 Habilidad técnica
 Reglas seguridad
 Intrefaz de control
 Actuadores lineal
 Universal
 Conocimiento técnicos
 Conocimiento técnicos
 Conocimiento técnicos
 Conocimiento técnicos
 Colectivo
 Colectivo
 Dinamómetro
 Potencia
 Sensor MAF
 Manual de usuario
 Bitacora operaciones
 Bitacora operaciones
 Bitacora operaciones

Necesidad interpretada	Métrica
La bitácora del UMSU es capturada por la computadora	Almacenamiento de información interno
EL UMSU cuenta con una interfaz digital	Interfaz gráfica GUI
La ECU está colocada en una posición cómoda y de fácil acceso	Accesibilidad
EL puerto de conexión de la ECU es resistente	Puerto de conexión resistente
EL UMSU permite al usuario conectar su propia computadora para controlar el motor	Puerto de conexión resistente
La ignición del motor es sencilla	Switch de Ignición
La ignición del motor consiste en un solo paso	Switch de Ignición
El UMSU controla el chicote de aceleración	acelerador
EL UMSU puede estar funcionando por periodos de 2 a 3 hrs	Tiempo de operación
EL UMSU permite al usuario entender acerca de motores	Habilidad técnica
EL UMSU permite comprender los componentes más sofisticados del motor	Habilidad técnica
EL UMSU complementa proyectos extracurriculares	Herramienta de apoyo
EL UMSU complementa al equipo de Fórmula SAE	Herramienta de apoyo
EL UMSU complementa al equipo de ECOSHELL	Herramienta de apoyo
El UMSU complementa al equipo de Minibaja	Herramienta de apoyo
EL UMSU complementa a los ingenieros automotrices	Habilidad técnica
EL UMSU permite al usuario generar código nuevo	Ambiente de desarrollo software
EL UMSU le permite al operador actualizar y modificar las funciones actuales	Interfaz, conexiones y módulos
EL UMSU requiere de guantes de seguridad	Guantes de seguridad
El UMSU requiere de overol de trabajo	Overol de seguridad
EL UMSU requiere de batas de laboratorio	Batas de seguridad
EL UMSU se opera lejos de oficinas y de las aulas de clase	Volumen del banco
EL UMSU es poco ruidoso	Sensor de ruido
EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales	Regularización ambiental

Necesidad interpretada	Metrica
EL UMSU cumple con regularizaciones ambientales	Regularización ambiental
EL UMSU afecta poco el aire que respiran los estudiantes	Calidad del aire
EL UMSU se encuentra en un lugar fijo	Llantas con fijadores
EL UMSU le permite al operador complementar la teoría de mecánica automotriz	Herramienta de apoyo
EL UMSU le permite al usuario complementar la materia de transformación de energía	Conocimiento técnicos
EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de dinámica de maquinaria	Conocimiento técnicos
EL UMSU le permite al usuario complementar la teoría de control	Conocimiento técnicos
EL UMSU permite mejorar el rendimiento del motor	Herramienta de apoyo
EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones	Manual de usuario
EL UMSU permite medir las revoluciones por minuto	Sensor del cigüeñal 24X
EL UMSU tiene una computadora que presenta las mediciones	GUI
EL UMSU puede operarse máximo con dos personas	Colectivo
EL UMSU genera archivos que se pueden extrapolar a Matlab	Colaborativo
La interfaz del UMSU permite elegir de entre distintas variables para medir	Configurable
EL UMSU permite ser reprogramado y mejorado para futuros proyectos	Escalable
EL UMSU requiere tener un extintor dedicado	Extintor
EL UMSU tiene un botón de corta corriente	Boton cortacorriente
EL UMSU muestra la calibración del motor	Sensor de digital de posición
EL UMSU muestra los tiempos del motor	Sensor CAM
EL UMSU permite desarrollarse en la industria	Herramienta de apoyo
EL UMSU es resistente a la humedad	Robusto
EL UMSU es resitente al polvo en el ambiente	Robusto
El UMSU cuenta con barreras de seguridad y protección	Barreras de seguridad
EL UMSU cuenta con paro de emergencia	Paro de emergencia

Necesidad interpretada	Métrica
EL UMSU cuenta con ventilación	Ventilador
EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecánica	Habilidad técnica
EL UMSU es operado por alumnos de Ing. Mecatrónica	Habilidad técnica
EL usuario puede modificar la parte mecánica del UMSU	Configurable
EL UMSU acepta la adaptación de una transmisión	Modular
EL UMSU acepta la adaptación de otras máquinas relacionadas al proyecto	Modular
EL UMSU permite adaptar el motor a un vehículo de pruebas	Herramienta de apoyo
EL UMSU soporta motores V8	Universal
EL UMSU soporta motores V6	Universal
EL UMSU acepta la adaptación de dispositivos móviles	Módular
EL operador del UMSU tiene conceptos en motores de combustión interna	Conocimiento técnicos
EL operador del UMSU tiene conocimientos de control	Conocimiento técnicos
La consola de administración del UMSU es intuitiva	Consola sencilla
La consola de administración del UMSU permite el autoaprendizaje	Habilidad técnica
EL UMSU funciona por periodos continuos de 10 a 20 minutos	Tiempo de operación
EL UMSU evoluciona con la adición de módulos	Modular
EL UMSU permite reparaciones con piezas hechas en el laboratorio	Piezas sencillas
EL UMSU requiere refacciones poco costosas	Costo por pieza
El mantenimiento del UMSU es sencillo	Manufactura sencilla
Las herramientas de mantenimiento del UMSU son las mismas que se encuentran en un taller	Herramientas sencillas
EL UMSU permite mdeir la potencia al freno	Potencia de freno
La interfaz de control del UMSU es un software	GUI
EL UMSU se guarda en una bodega	Volumen
EL UMSU se opera por los profesores	Habilidad técnica

Necesidad interpretada

- EL operador puede variar la chispa de ignición
- EL UMSU se instrumenta a petición del usuario
- EL UMSU permite tomar la medición de la temperatura del aire
- EL UMSU cuenta con un sistema de encendido y apagado
- EL UMSU cuenta con extractor de gases
- EL UMSU expresa los valores y datos en una hoja de cálculo
- EL UMSU cuenta con agujas analógicas

Metrica

- Actuador (bujías)
- Modular
- Sensor de temperatura del aire
- Switch encendido
- Ventilador
- Almacenamiento de info interno
- Instrumentos analógicos

III. Especificaciones del UMSU

Necesidad interpretada	Unidad	Valor marginal	Valor ideal
EL UMSU se manipula en un entorno cerrado	m2	>8m2	15m2
La plataforma de pruebas cuenta con un puerto USB para exportar la información a una memoria flash	puerto	Serial-USB	USB
La plataforma de pruebas cuenta con una computadora dedicada para gestionar los datos	Hertz/ Gigas	2 - 4 GHz/ 0.5 - 1 Tb	2 GHz / 700 Gb
EL UMSU mide la cantidad de oxígeno en el escape	voltaje	[0-5 Volts]	[0-5 Volts]
El UMSU mide el ruido generado por el motor	Db	<100 dB	<85 dB
El UMSU admite periféricos relacionados al vehículo	módulos	>5	>5
El UMSU permite monitorear el aceite	Rango temp °C	[0 - 120 °C]	[0 - 120 °C]
El UMSU cuenta con una guía rápida de instalación y uso	hojas	<5 hojas	1 hoja
El servidor del UMSU puede almacenar varias sesiones de varios usuarios	byte	>100 Mb/usuario	>400 Mb
El UMSU guarda los archivos y reportes generados en la sesión del usuario por fecha y hora	byte	>100 Mb/usuario	>400 Mb
La Interfaz del UMSU tiene un botón de ayuda que indica qué colocar en cada campo	hipervinculos	>20	>20
El UMSU permite medir la eficiencia del motor	%	15 - 40%	
El UMSU permite obtener la temperatura del motor en tiempo real	°C	[0 - 97 °C]	[0 - 97 °C]
EL UMSU se opera en lugares amplios	metros	[2-3 mts]	[2-3 mts]
EL UMSU es operado por alumnos a partir de 6 semestre	horas	> 50 horas	70 horas
EL usuario inexperto aprende del UMSU	horas	>100 horas	>100 horas
EL UMSU permite configurar la ECU	# Variables	>5	>10
EL UMSU permite controlar la inyección electrónica	ms	[3 - 6 ms]	[1 - 10 ms]
EL UMSU permite un número limitado de motores	motores	>30	>50
EL UMSU permite medir el torque	Nm	[0-120 Nm]	[0-200 Nm]
EL UMSU permite medir la potencia a distintas velocidades	HP	[0-150 HP]	[0-200 HP]
EL UMSU cuenta con una bitácora de operaciones	hojas & mb	>30 Mb / usuario	>100 Mb /usuario
La bitácora del UMSU registra las condiciones iniciales y finales	hojas & mb	>30 Mb / usuario	>100 Mb /usuario
La bitácora del UMSU registra las mediciones que se tomaron	hojas & mb	>100 Mb/usuario	>400 Mb
EL puerto de conexión de la ECU es resistente	lista	>3000 conex/desconex	>3000 conex/desconex
La ignición del motor es sencilla	binario	1/0	1/0
La ignición del motor consiste en un solo paso	binario	1/0	1/0
El UMSU controla el chicote de aceleración	grados	[0-60°]	[0-80°]
EL UMSU puede estar funcionando por periodos de 2 a 3 hrs	horas	>1.5 horas	>= 3 horas

Necesidad interpretada	Unidad	Valor marginal	Valor ideal
EL UMSU complementa a los ingenieros automotrices	# de practicas	> 5 prácticas por ingeniero	>10 prácticas por Ingeniero
EL UMSU permite al usuario generar código nuevo	líneas de código	>500	>2000
EL UMSU le permite al operador actualizar y modificar las funciones actuales	lista, lista y modul	>40	>60
EL UMSU cuenta con un manual en formato digital que permite la búsqueda de secciones	páginas	>50 páginas	>90 páginas
EL UMSU permite medir las revoluciones por minuto	RPM	[0 - 3000 RPM]	[0 - 5500 RPM]
EL UMSU genera archivos que se pueden extrapolar a Matlab	lista	Mathlab, Mathematica, Exc	Mathlab, Mathematica, Excel
La interfaz del UMSU permite elegir de entre distintas variables para medir	# Variables	>5	>10
EL UMSU tiene un botón de corta corriente	binario	1 / 0	1 / 0
EL UMSU cuenta con paro de emergencia	binario	1/0	1/0
EL UMSU cuenta con ventilación	°C	< 90°C	[80°C-90°C]
EL UMSU acepta la adaptación de una transmisión	Módulos	>5	>5
EL UMSU acepta la adaptación de otras máquinas relacionadas al proyecto	Módulos	>5	>5
EL UMSU soporta motores V8	lista	>7	>10
EL UMSU soporta motores V6	subj	>7	>10
EL UMSU acepta la adaptación de dispositivos móviles	Módulos	>5	>5
EL operador del UMSU tiene conceptos en motores de combustión interna	conceptos	>10	[5 - 10]
EL UMSU permite medir la potencia al freno	HP	>120 HP	>150 HP
EL UMSU se guarda en una bodega	metros cubicos	3m3	5m3
EL UMSU se opera por los profesores	personas	[2-6]	[1-6]
EL UMSU cuenta con un sistema de encendido y apagado	binario	1 / 0	1 / 0

IV. Matriz QFD

	Accesibilidad	Habilidad técnica	Reglas seguridad	Intrefaz de control	Actuadores lineal	Universal	Colectivo	Dinamómetro	Sensor temperatura agua	Potencia	Sensor MAF	Bitacora operaciones	información interno	Interfaz gráfica GUI	Puerto de conexión resistente	Switch de Ignición	acelerador	Herramienta de apoyo	Interfaz, conexiones y módulos	Guantes de seguridad	Overol de seguridad	Batas de seguridad	Sensor de ruido	Regularización ambiental	Calidad del aire	Llantas con fijadores	Conocimiento técnicos
	subj	horas	lista	VARIABLES	HZ	lista	personas	Nm	°C	HP	gr/seg	hojas & mb	hojas/mb	lista	lista	binario	Nm	lista	lista,	lista	lista	lista	Db	normas	IMECA	lista	conceptos
EL UMSU separa al usuario del motor	■																										
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos		■																									
EL UMSU es didáctico			■																								
EL UMSU separa al usuario del motor				■																							
EL UMSU configura las características del motor					■																						
EL UMSU configura las características del motor						■																					
EL UMSU es universal							■																				
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos								■																			■
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos									■																		■
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos										■																	■
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos											■																■
EL UMSU se opera por un grupo de personas												■															■
EL UMSU se opera por un grupo de personas													■														■
EL UMSU mide las características de un motor														■													■
EL UMSU mide las características de un motor															■												■
EL UMSU mide las características de un motor																■											■
EL UMSU mide las características de un motor																	■										■
EL UMSU cuenta con manual de operación																		■									■
La información del UMSU se guarda																			■								■
La información del UMSU se guarda																				■							■
La información del UMSU se guarda																					■						■
La información del UMSU se guarda																						■					■
EL UMSU cuenta con una interfaz																											■
EL UMSU es ergonómico																											■
EL UMSU es robusto																											■
EL UMSU se controla a través de una computadora																											■
EL UMSU es amigable																											■

	Switch de ignición	binario
	acelerador	Nm
	Herramienta de apoyo	lista
	Interfaz, conexiones y módulos:	lista,
	Guantes de seguridad	lista
	Overol de seguridad	lista
	Batas de seguridad	lista
	Sensor de ruido	Db
	Regularización ambiental	normas
	Calidad del aire	IMECA
	Llantas con fijadores	lista
	Conocimiento técnicos	conceptos
	Manual de usuario	mb
	Sensor del cigüeñal 24X	RPM
	GUI	lista
	Colaborativo	software
	Configurable	subj
	Escalable	subj
	Extintor	lista
	Boton cortacorriente	binario
	Sensor de digital de posición	Hz
	Sensor CAM	voltaje
	Robusto	subj
	Barreras de seguridad	lista
	Paro de emergencia	lista
	Ventilador	lista
	Universal	lista
	Consola sencilla	subj
	Tiempo de operación	horas
	Piezas sencillas	lista
	Costo por pieza	\$
	Manufactura sencilla	subj
	Herramientas sencillas	subj
	Potencia de freno	HP
	Actuador (bujías)	Hz
	Sensor de temperatura del aire	°C
	Switch encendido	binario
	Almacenamiento de info interr	Hoja & Mb
	Instrumentos analógicos	lista

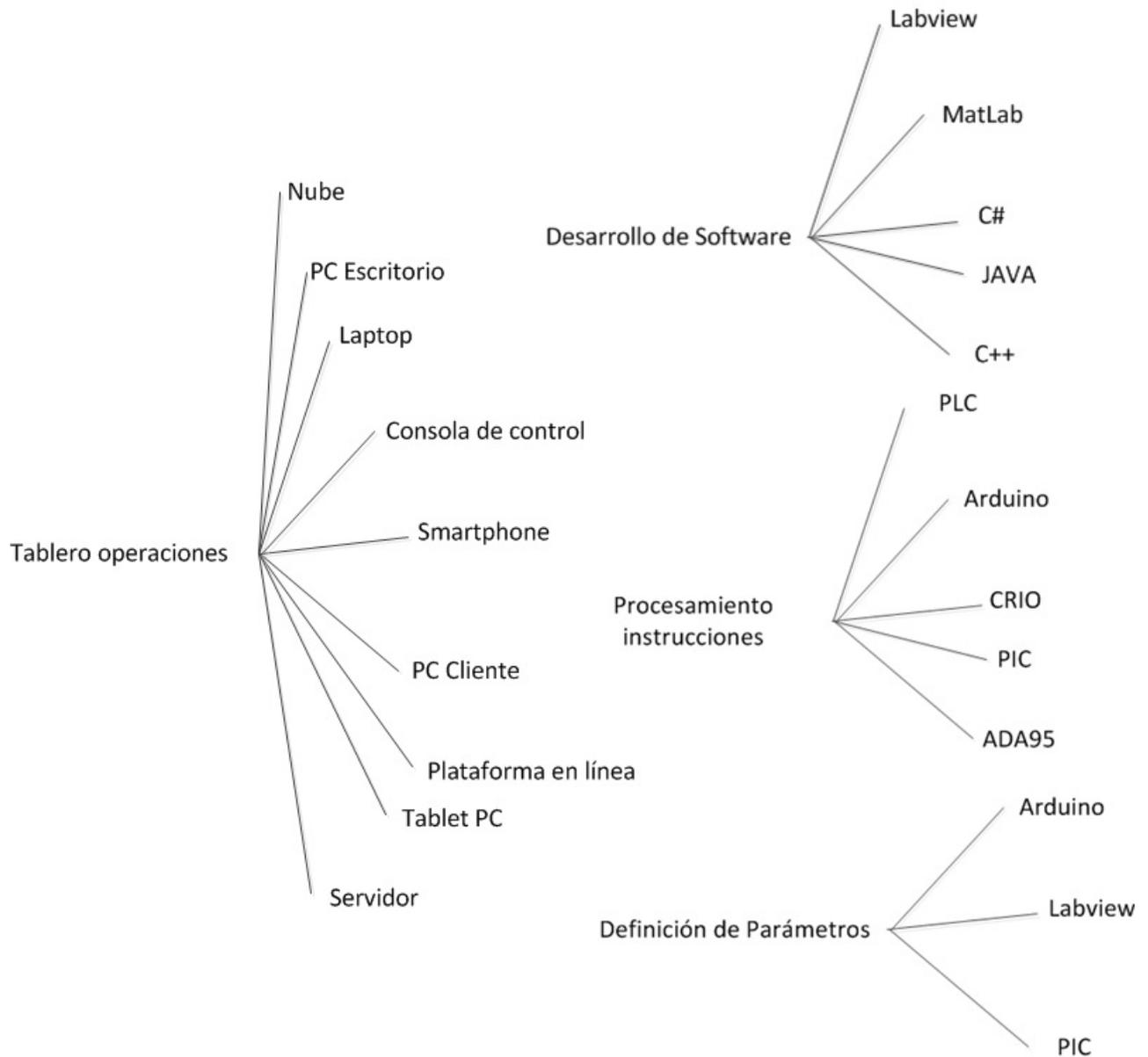
El UMSU se controla a través de una computadora
 EL UMSU se opera por un grupo de personas
 EL UMSU interactúa con software de terceros
 EL UMSU cuenta con una interfaz
 EL UMSU evoluciona
 EL UMSU es seguro
 EL UMSU es seguro
 EL UMSU mide las características de un motor
 EL UMSU mide las características de un motor
 EL UMSU es una herramienta automatriz
 EL UMSU es robusto
 EL UMSU es robusto
 EL UMSU es seguro
 EL UMSU es seguro
 EL UMSU es seguro
 EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
 EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
 EL UMSU es modular
 EL UMSU es modular
 EL UMSU es una herramienta automatriz
 EL UMSU es universal
 EL UMSU es universal
 EL UMSU es modular
 EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
 EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos
 EL UMSU es amigable

	Switch de ignición	binario
EL UMSU es didáctico	acelerador	Nm
EL UMSU opera durante un periodo de tiempo definido	Herramienta de apoyo	lista
EL UMSU es modular	Interfaz, conexiones y módulos	lista, lista,
EL UMSU es un ensamble sencillo	Guantes de seguridad	lista
EL UMSU es un ensamble sencillo	Overol de seguridad	lista
EL UMSU es un ensamble sencillo	Batas de seguridad	lista
EL UMSU mide las características de un motor	Sensor de ruido	Db
EL UMSU cuenta con una interfaz	Regularización ambiental	normas
EL UMSU cuenta con una interfaz	Calidad del aire	IMECA
EL UMSU es móvil	Llantas con fijadores	lista
EL UMSU se opera por personas con conocimientos técnicos	Conocimiento técnicos	conceptos
EL UMSU configura las características del motor	Manual de usuario	mb
EL UMSU es modular	Sensor del cigüeñal 24X	RPM
EL UMSU mide las características de un motor	GUI	lista
EL UMSU es funcional	Colaborativo	software
EL UMSU es seguro	Configurable	subj
La información del UMSU se guarda	Escalable	subj
EL UMSU mide las características de un motor	Extintor	lista
	Boton cortacorriente	binario
	Sensor de digital de posición	Hz
	Sensor CAM	voltaje
	Robusto	subj
	Barreras de seguridad	lista
	Paro de emergencia	lista
	Ventilador	lista
	Universal	lista
	Consola sencilla	subj
	Tiempo de operación	horas
	Piezas sencillas	lista
	Costo por pieza	\$
	Manufactura sencilla	subj
	Herramientas sencillas	subj
	Potencia de freno	HP
	Actuador (bujías)	Hz
	Sensor de temperatura del aire	°C
	Switch encendido	binario
	Almacenamiento de info interr	Hoja & Mb
	Instrumentos analógicos	lista

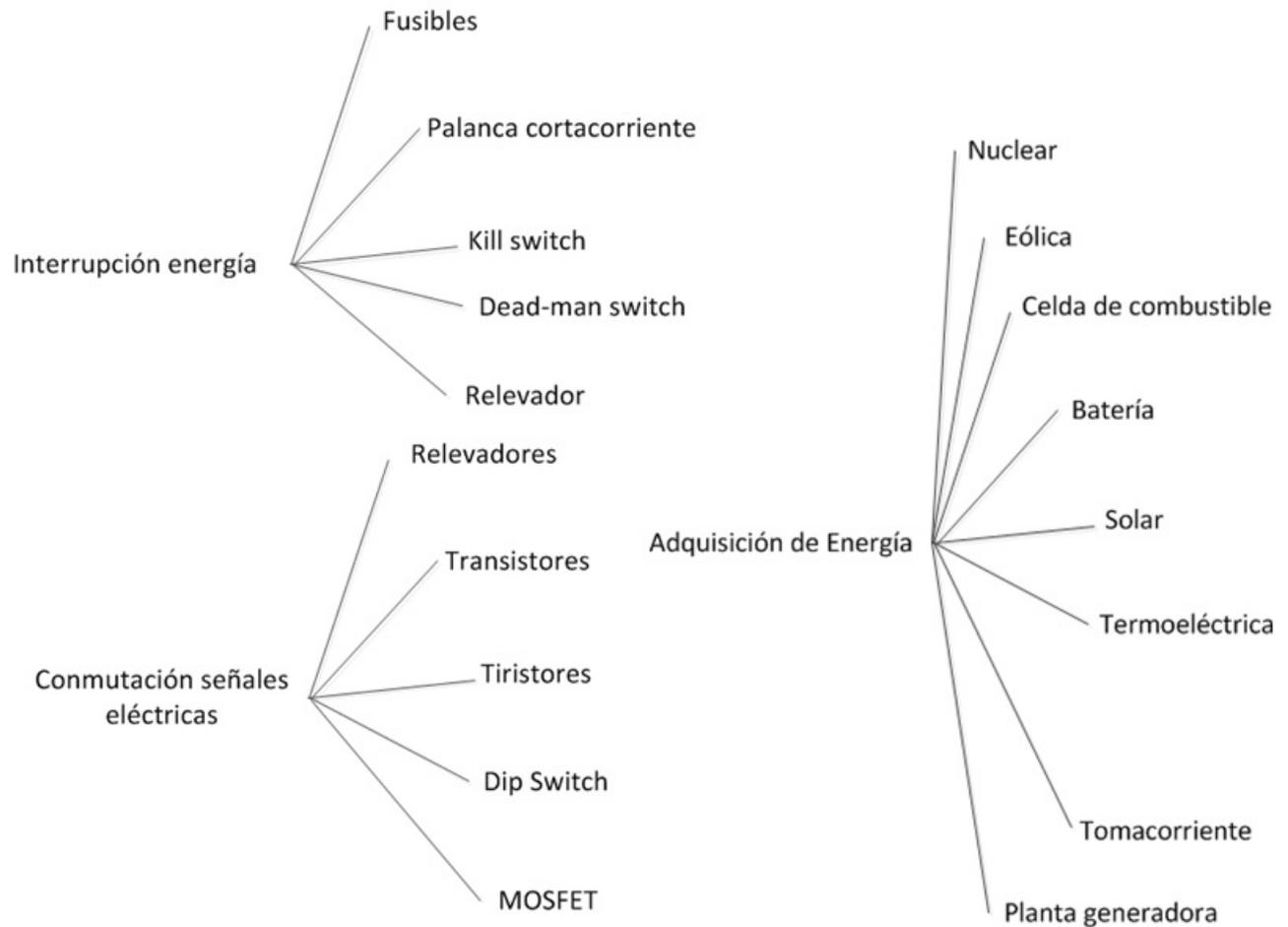
Apéndice D

Árboles de posibles soluciones

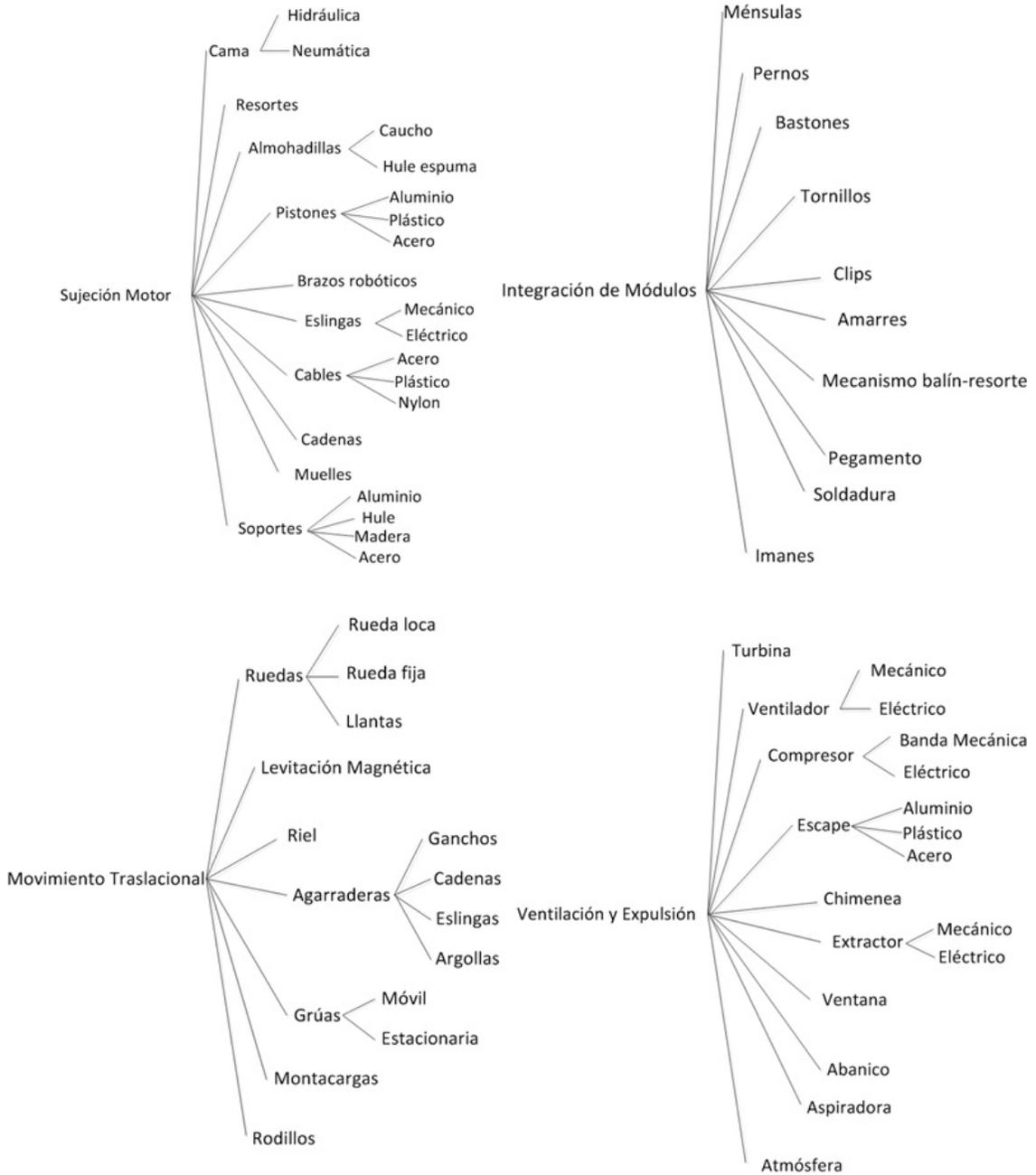
V. Árboles de solución para el sistema de control

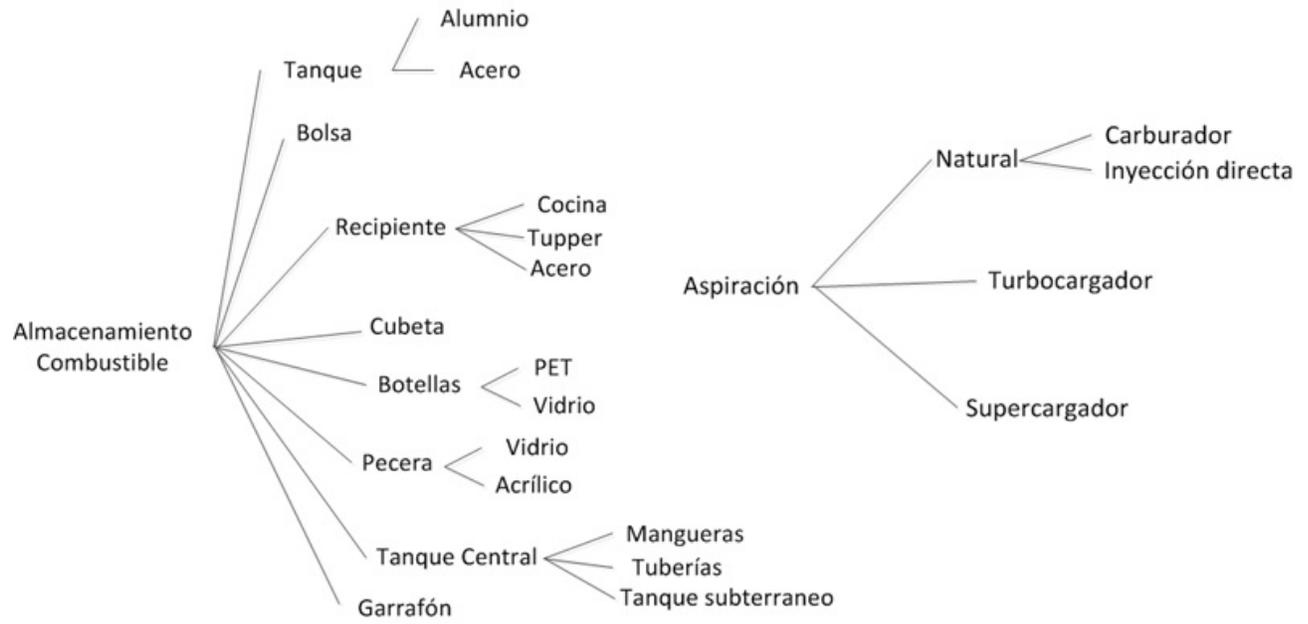


VI. Árboles de solución para el sistema eléctrico

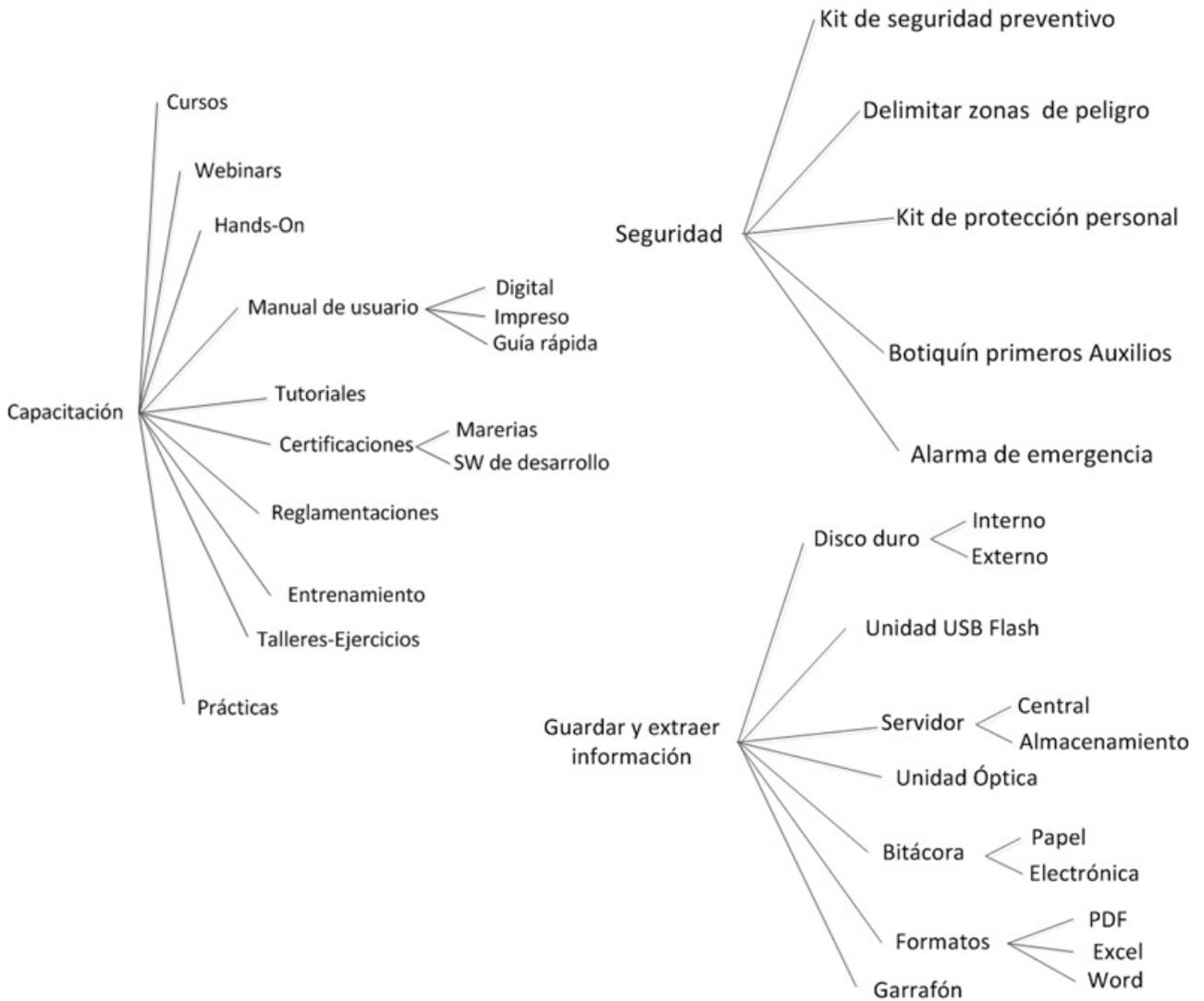


VII. Árboles de solución para el sistema mecánico



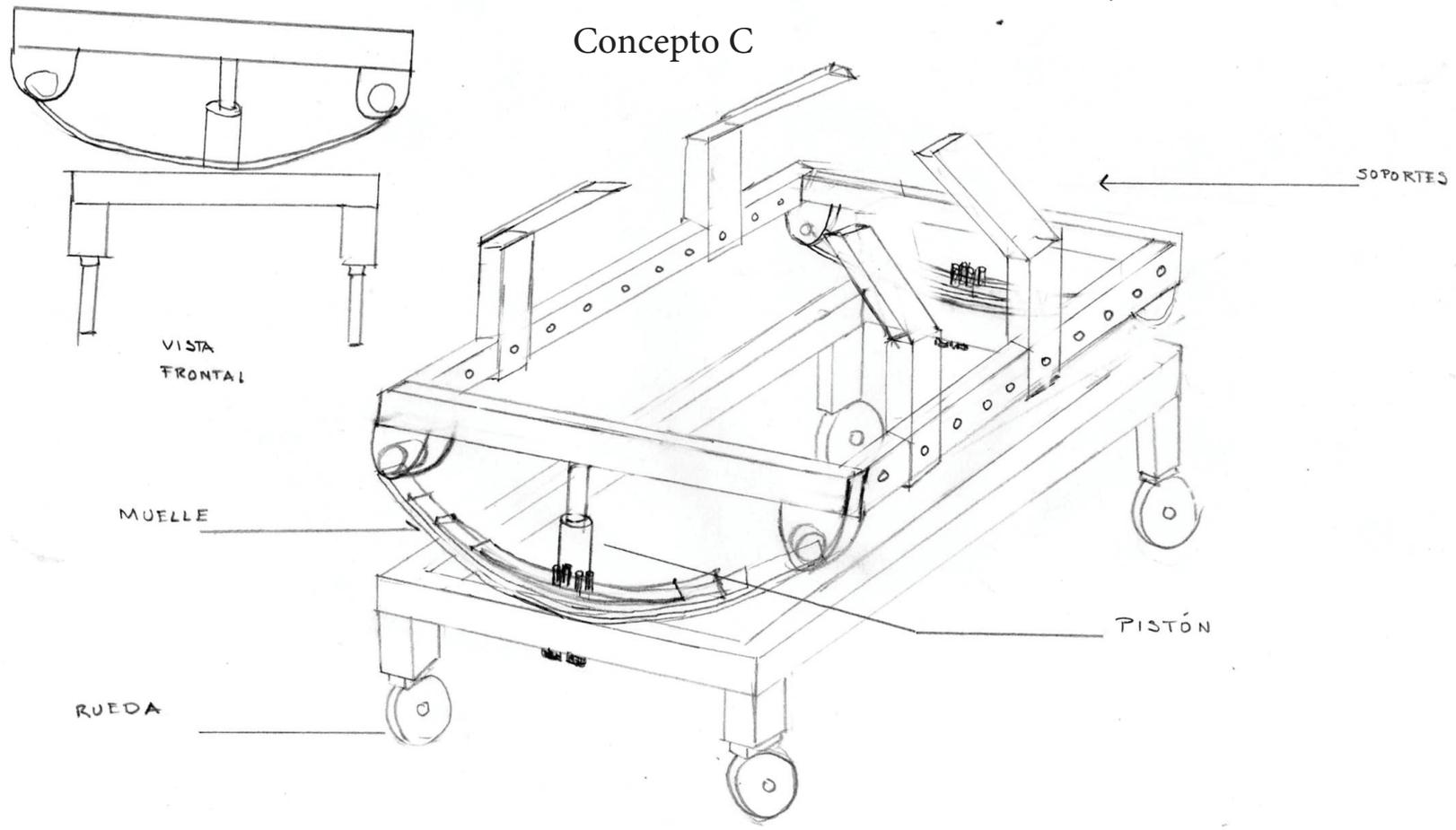


VIII. Árboles de solución para el sistema de usuario

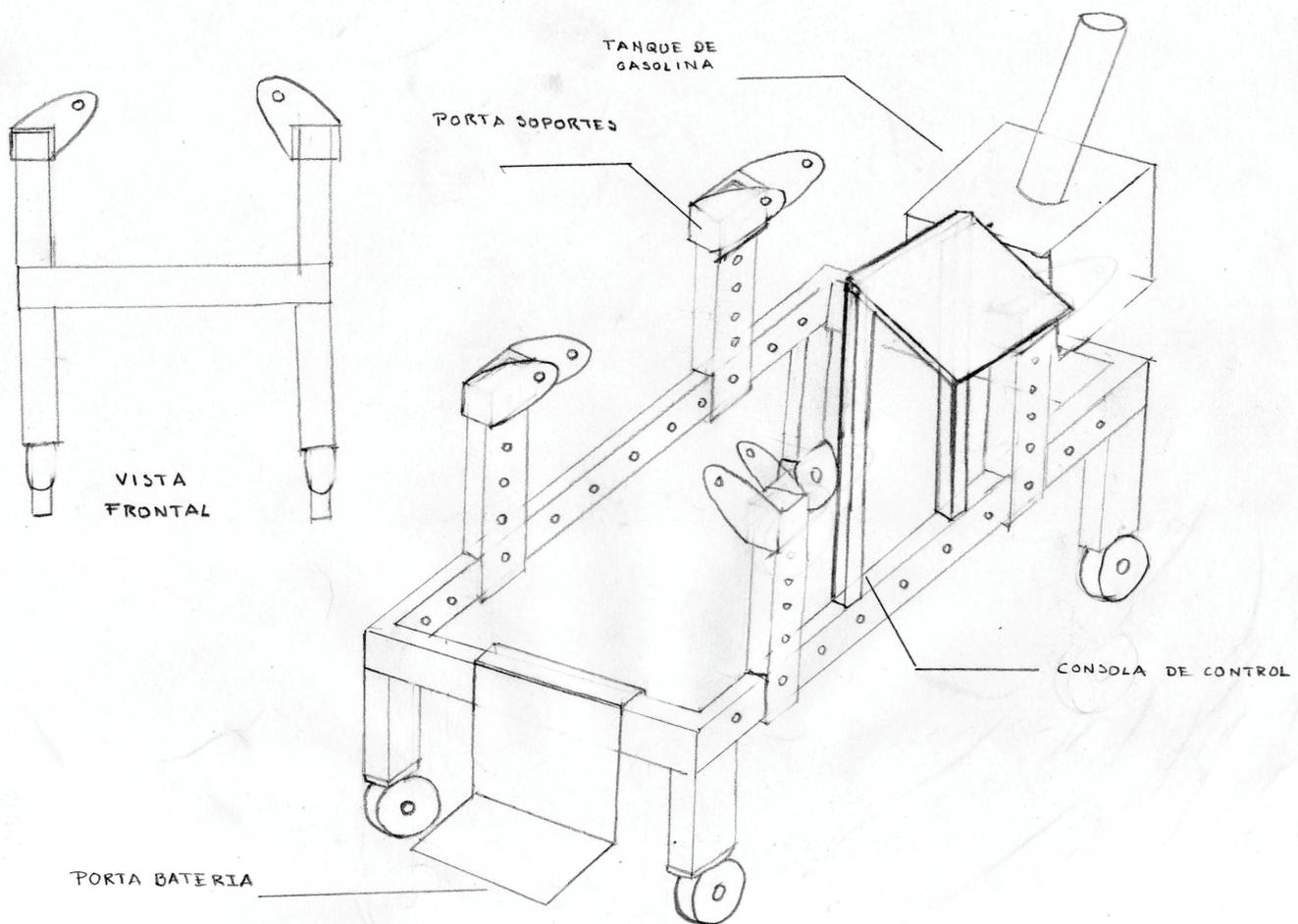


Apéndice E

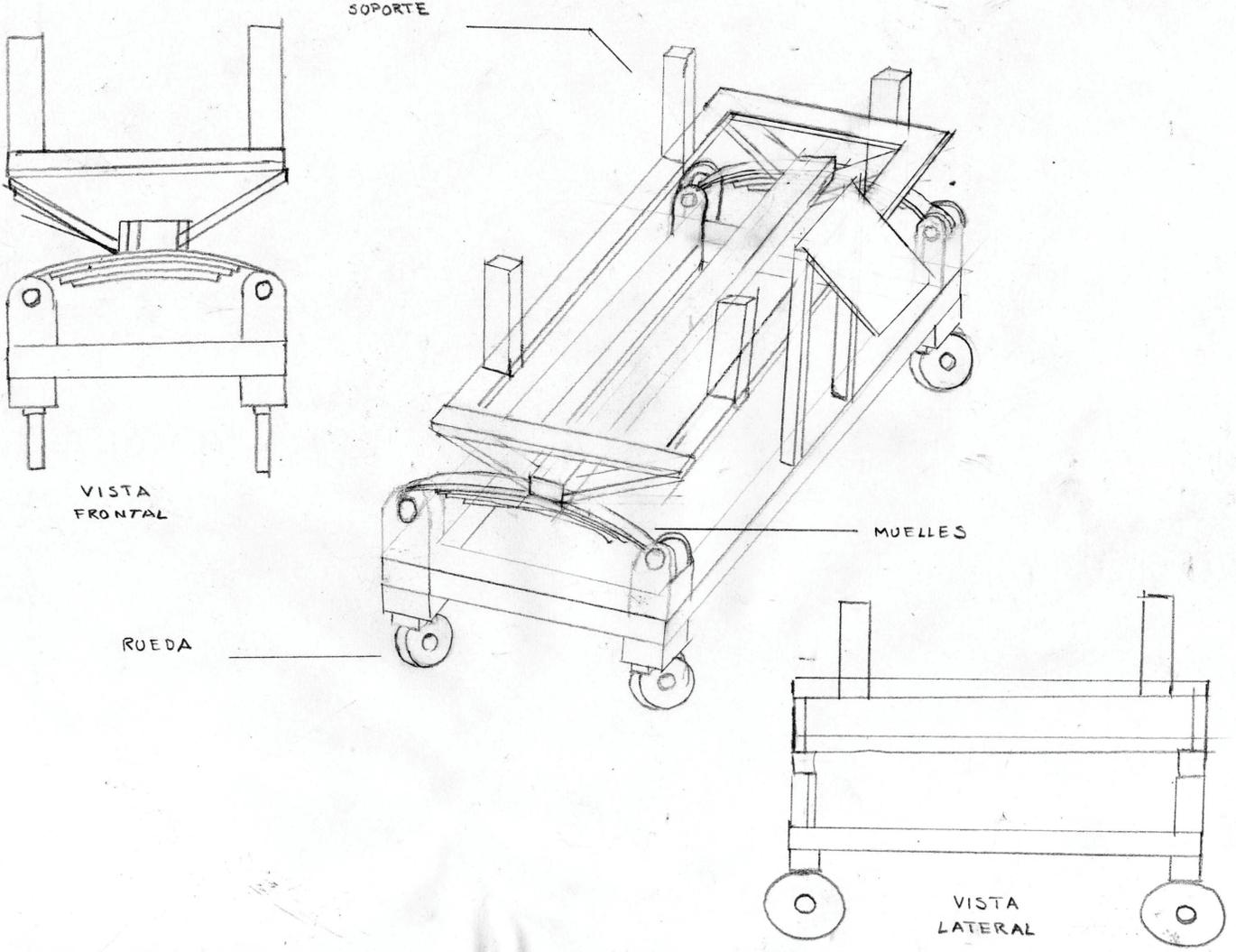
Bosquejos del sistema Mecánico



Concepto A

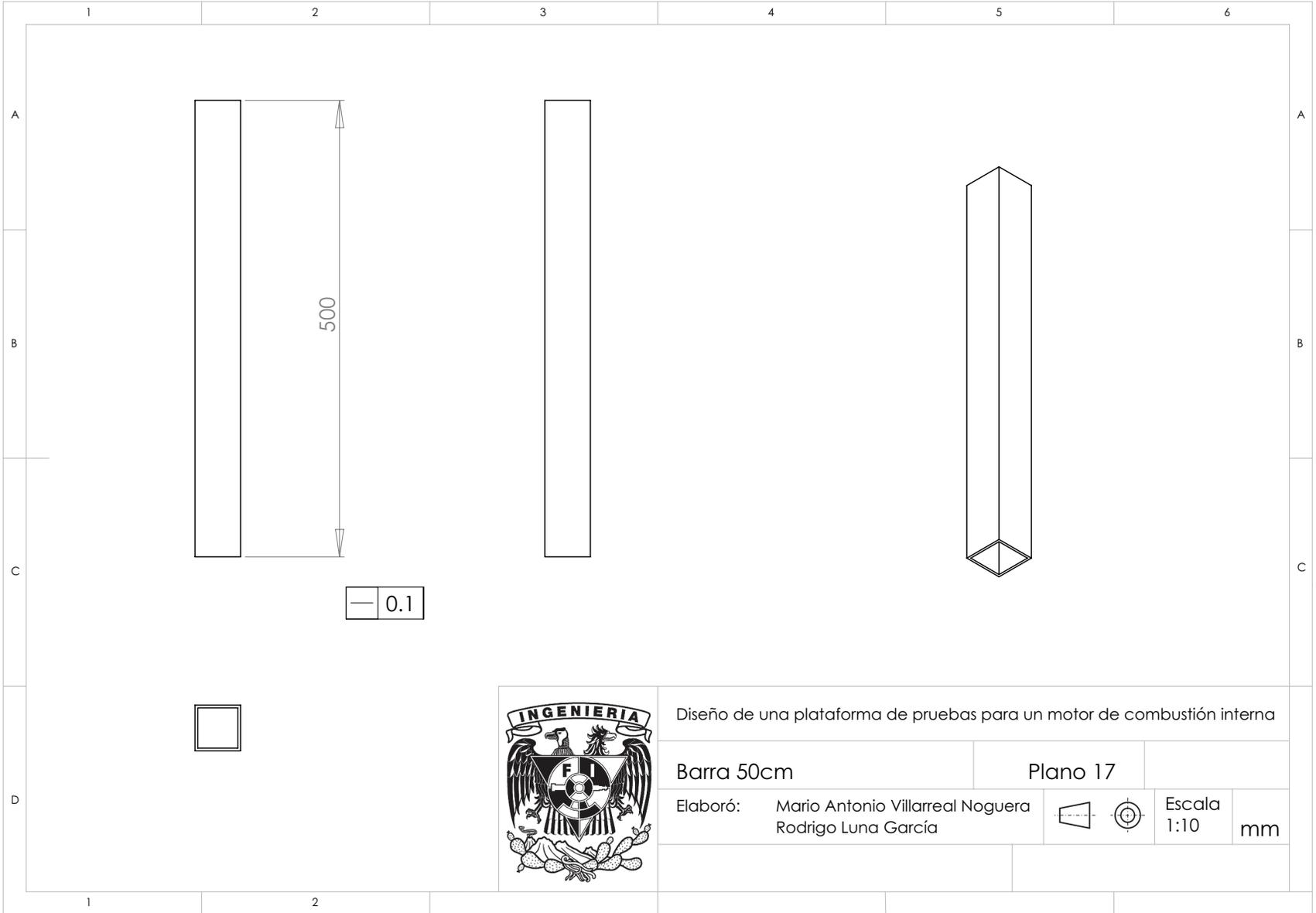


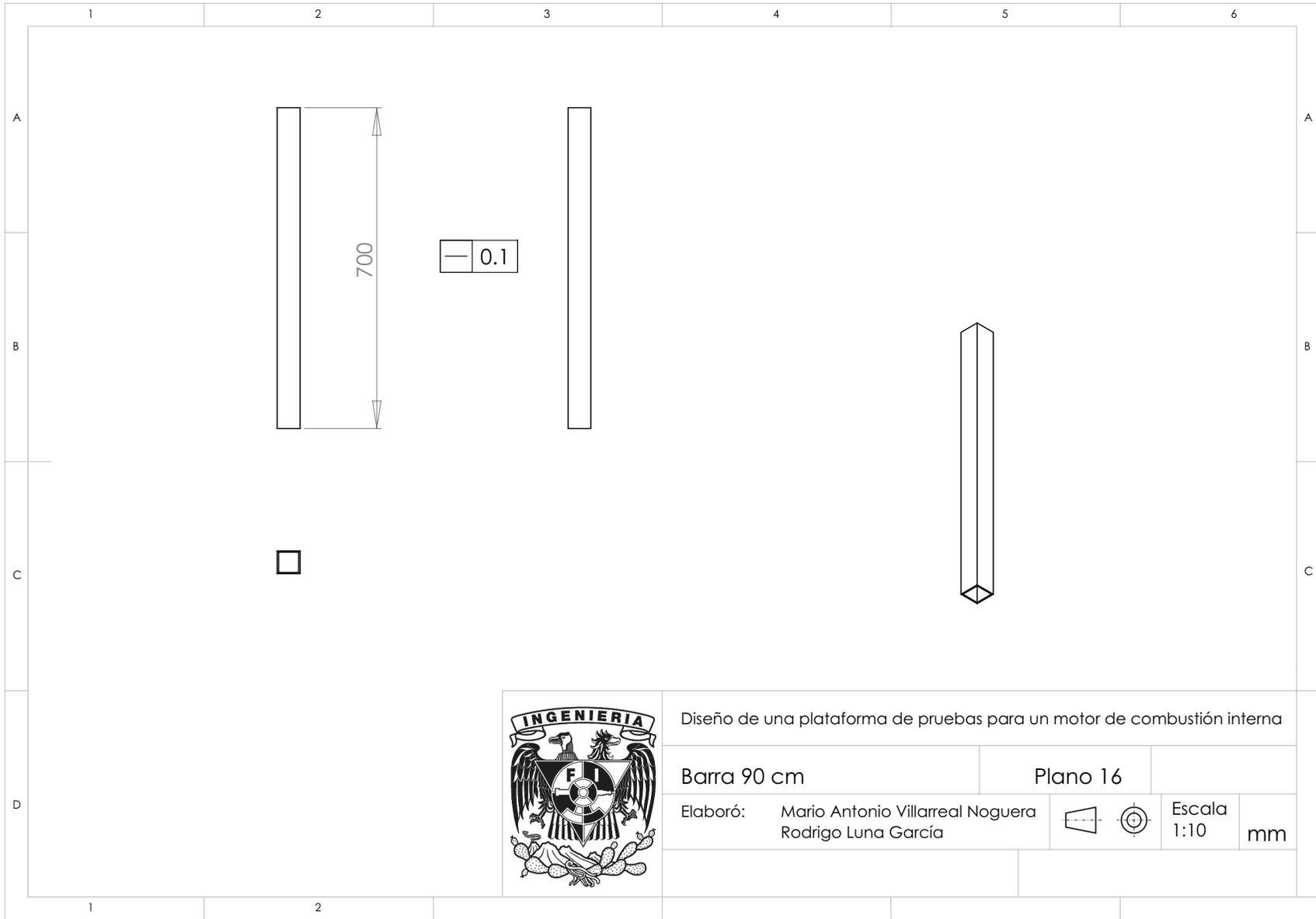
Concepto B

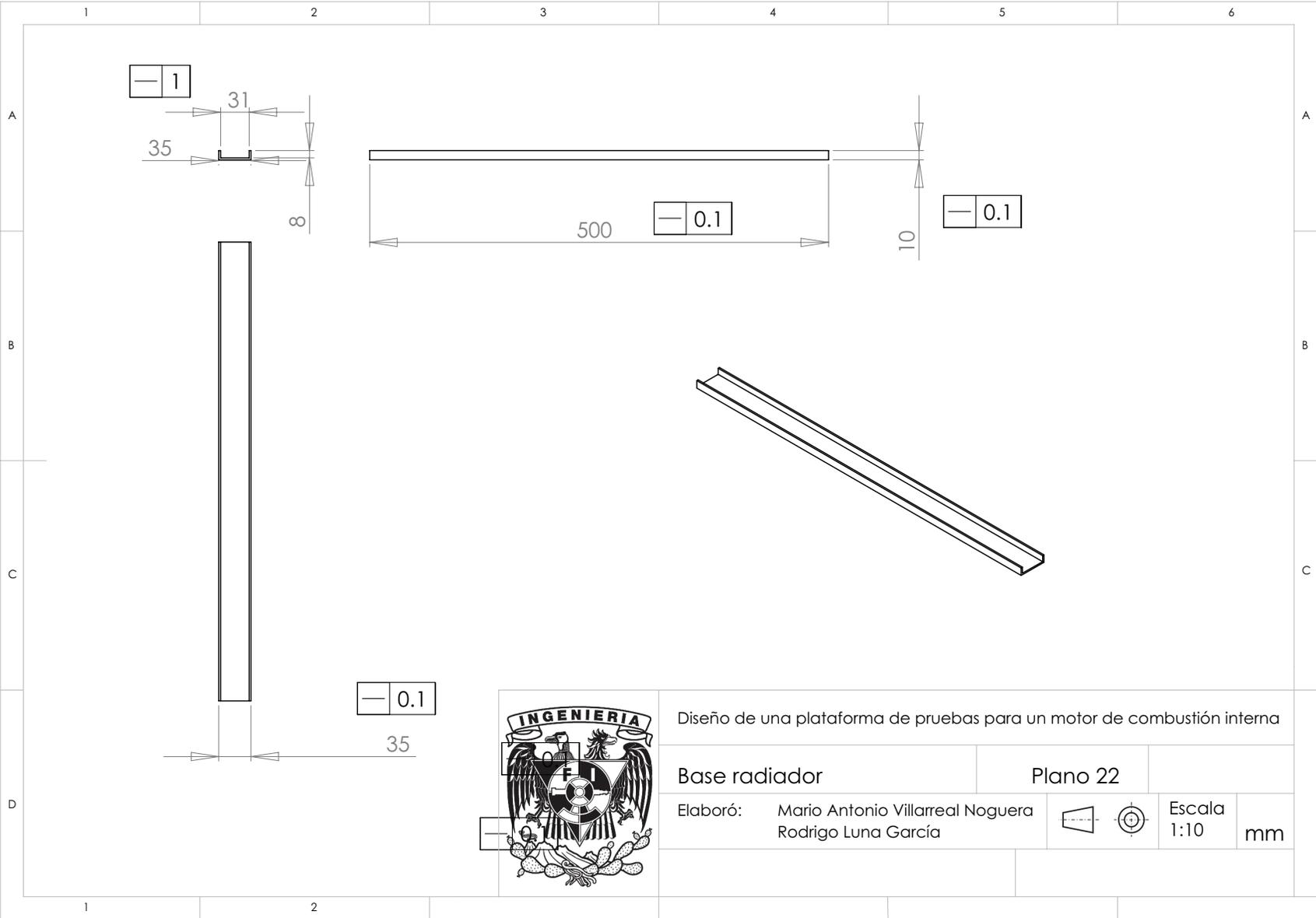


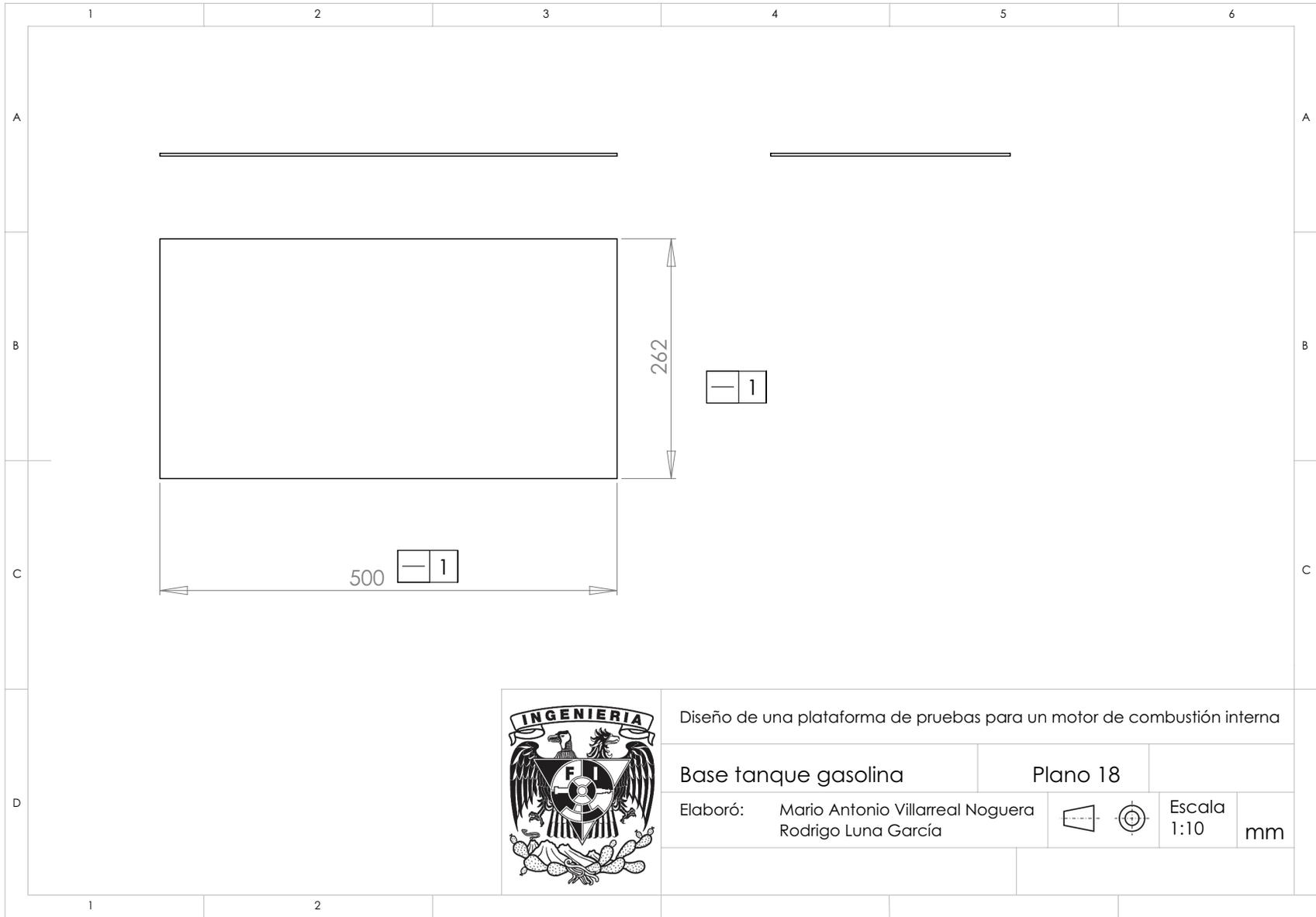
Apéndice F

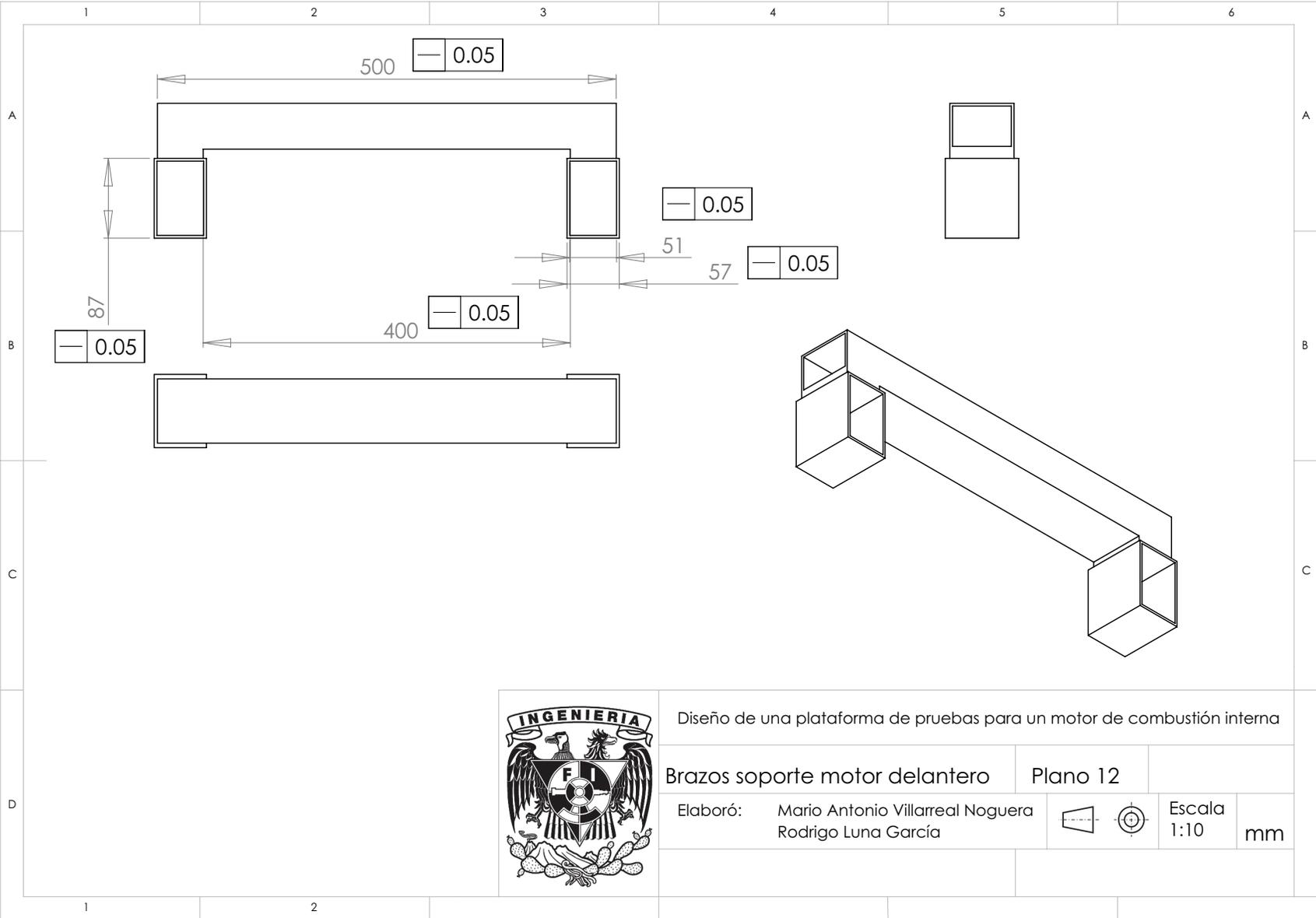
Planos de la estructura del UMSU

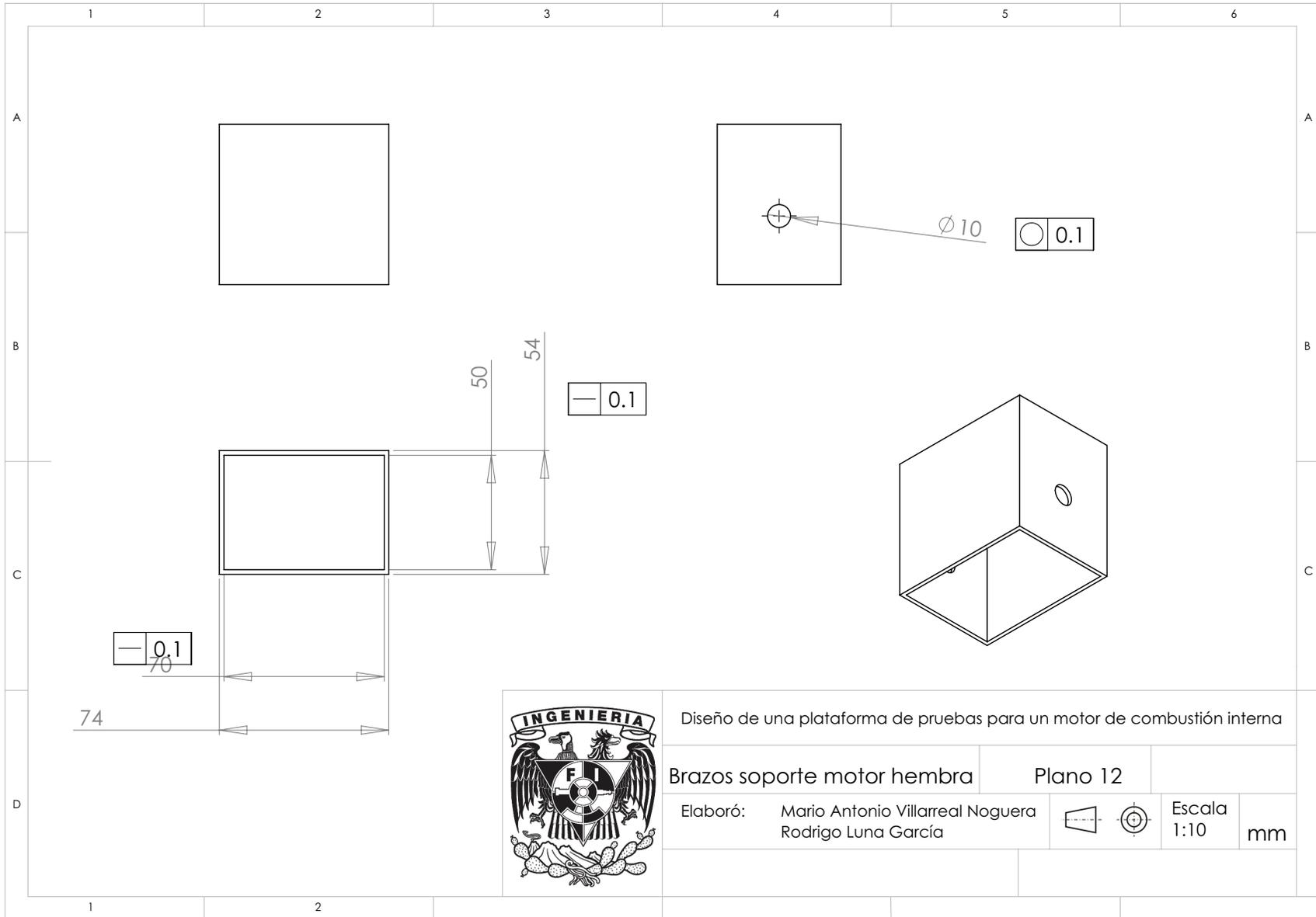


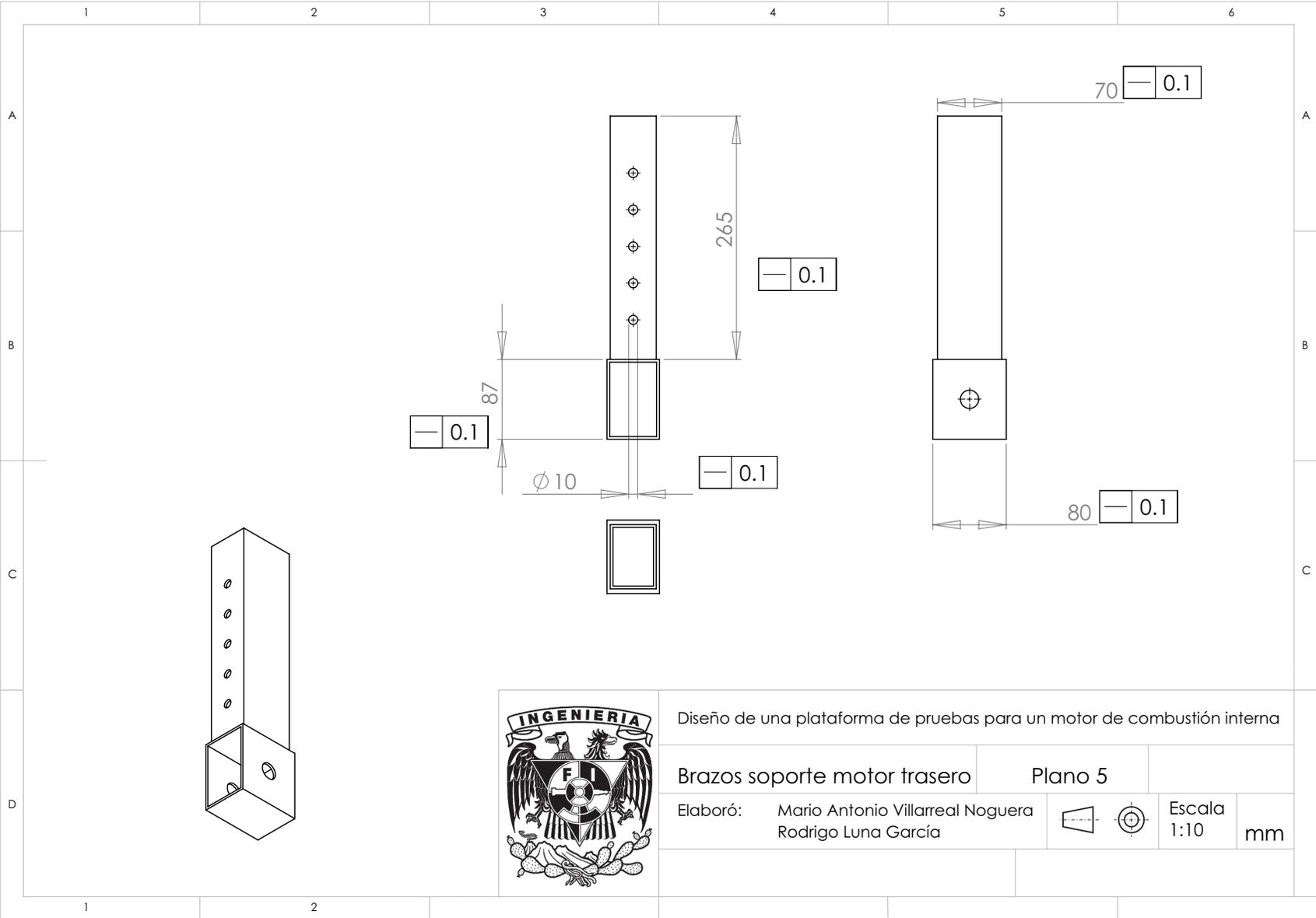


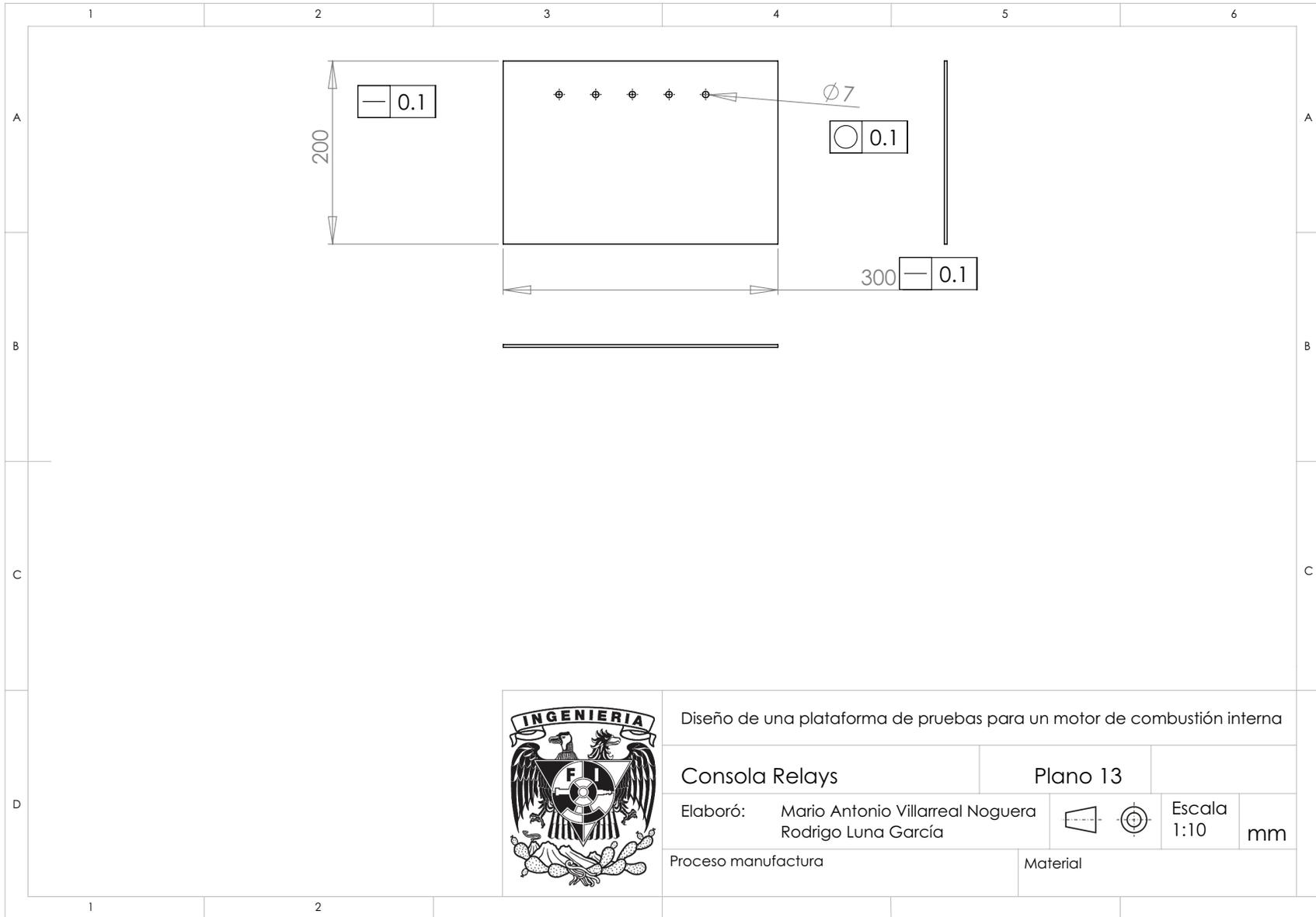










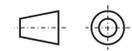


Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna

Consola Relays

Plano 13

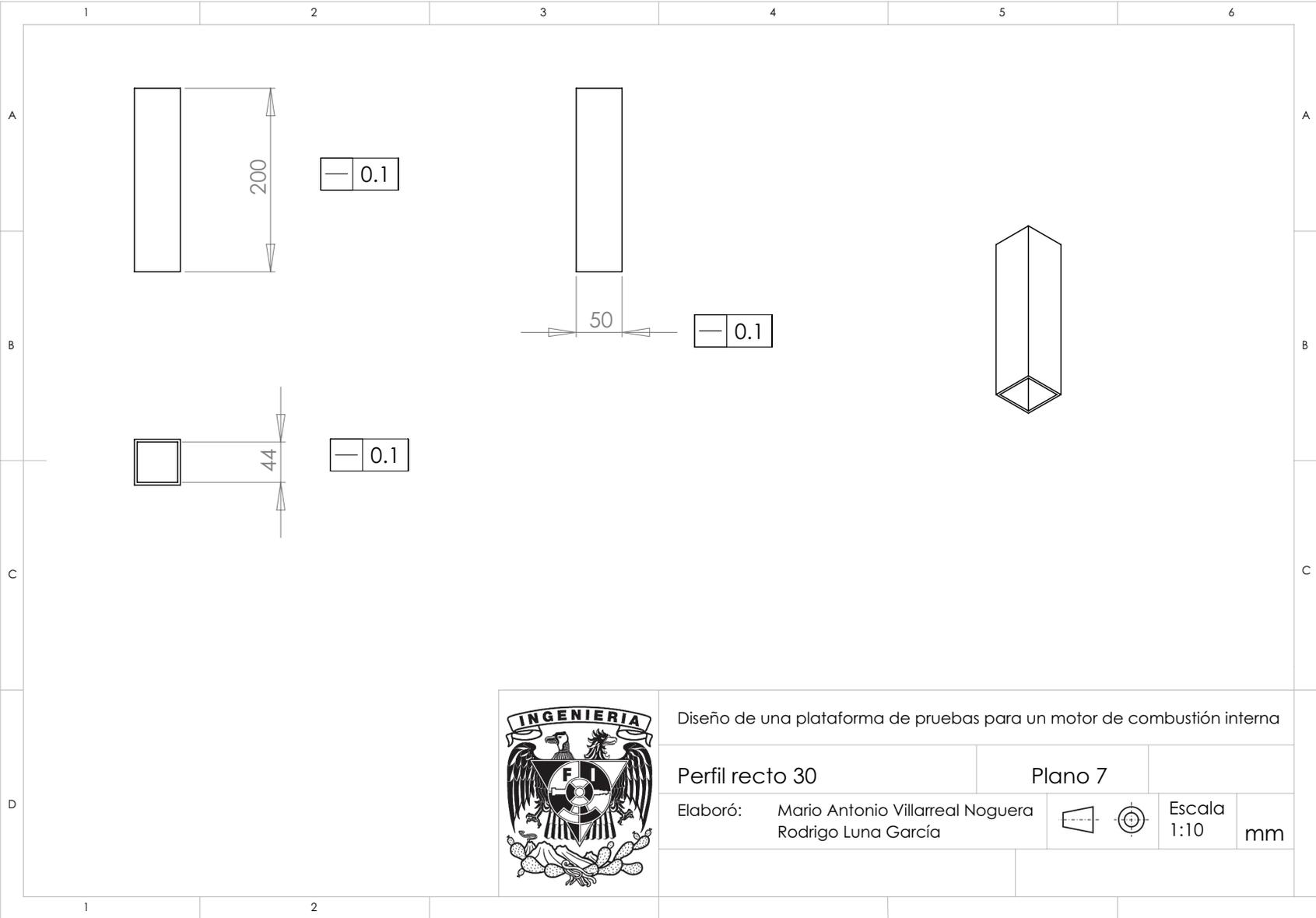
Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera
Rodrigo Luna García

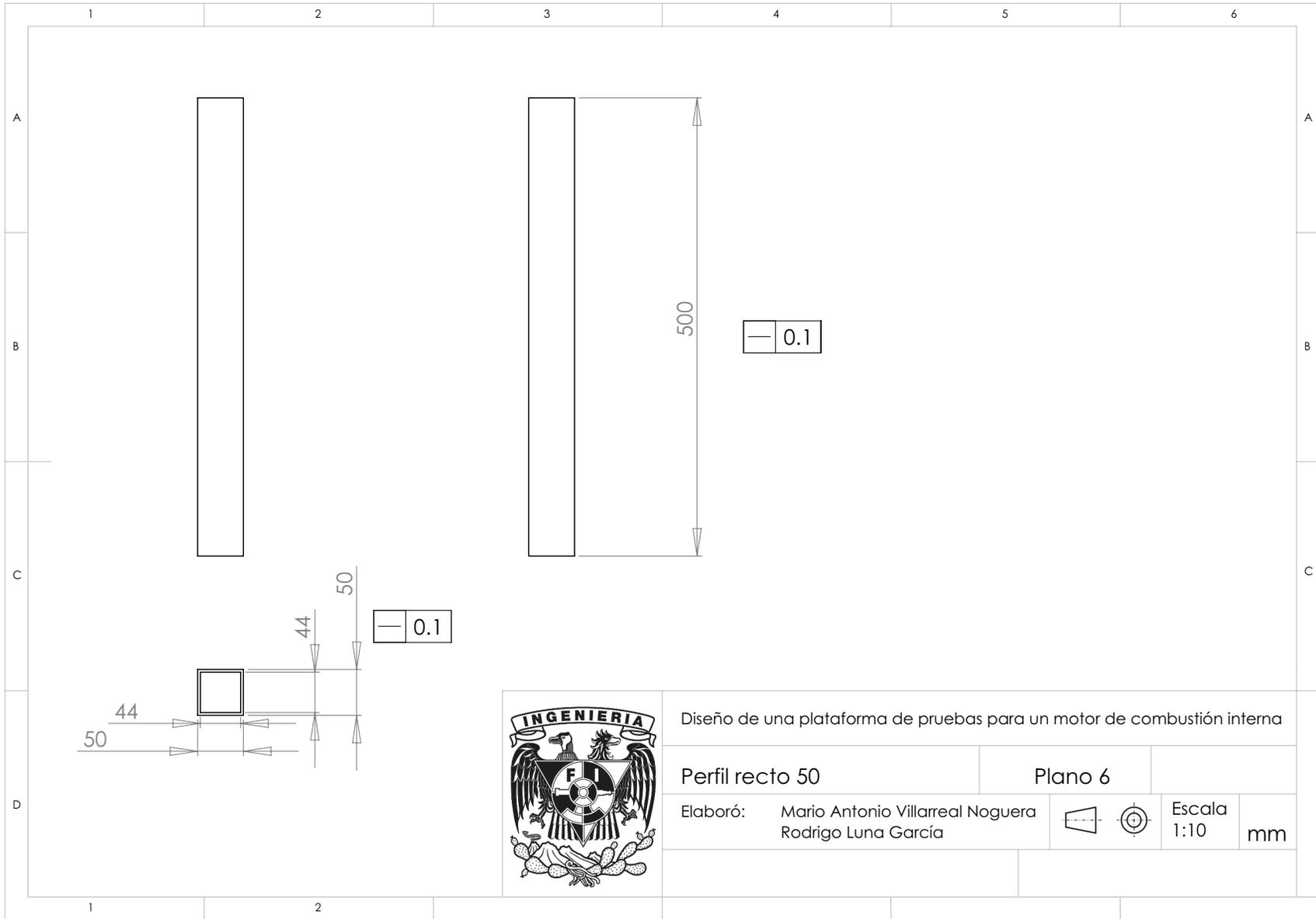


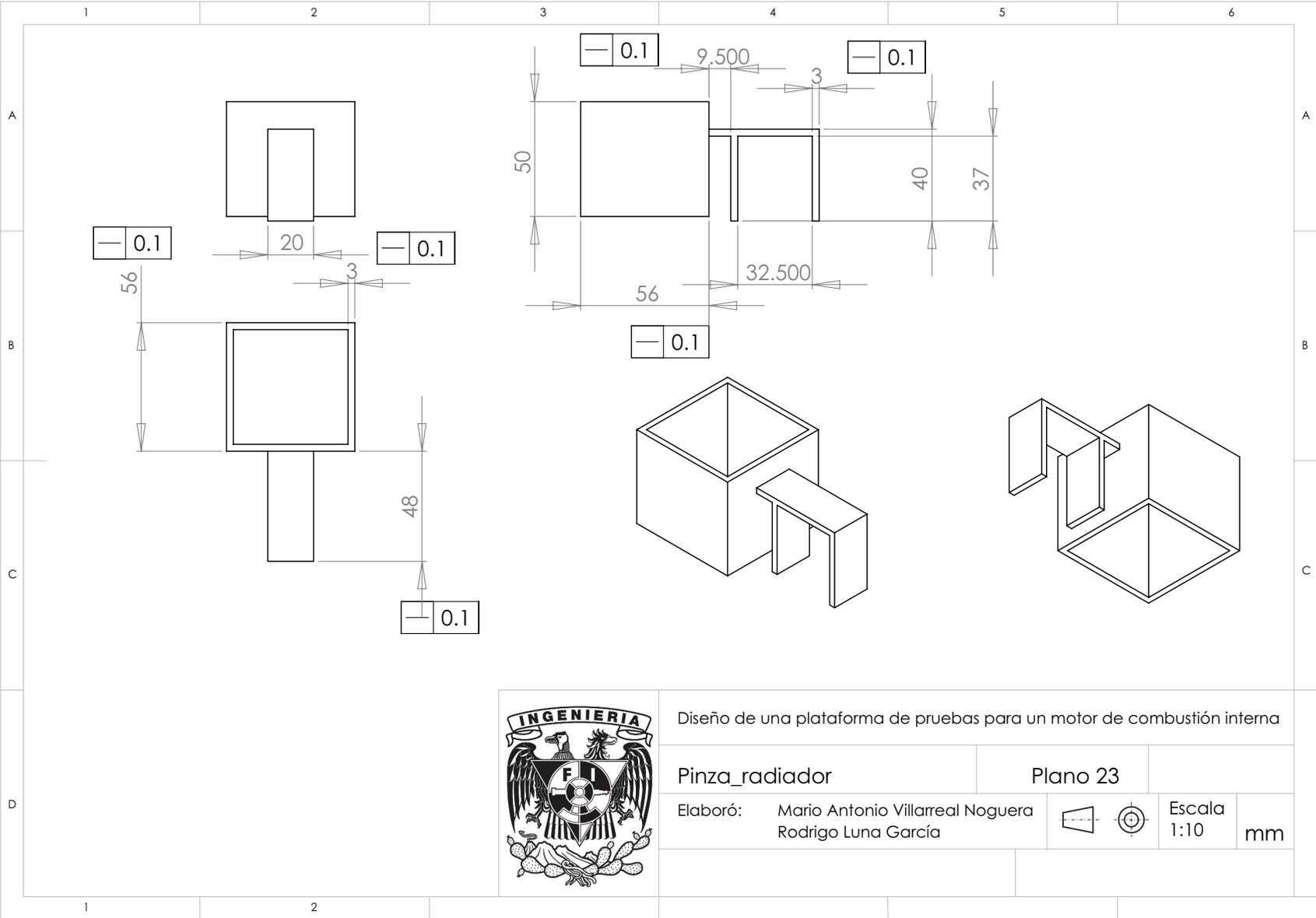
Escala
1:10 mm

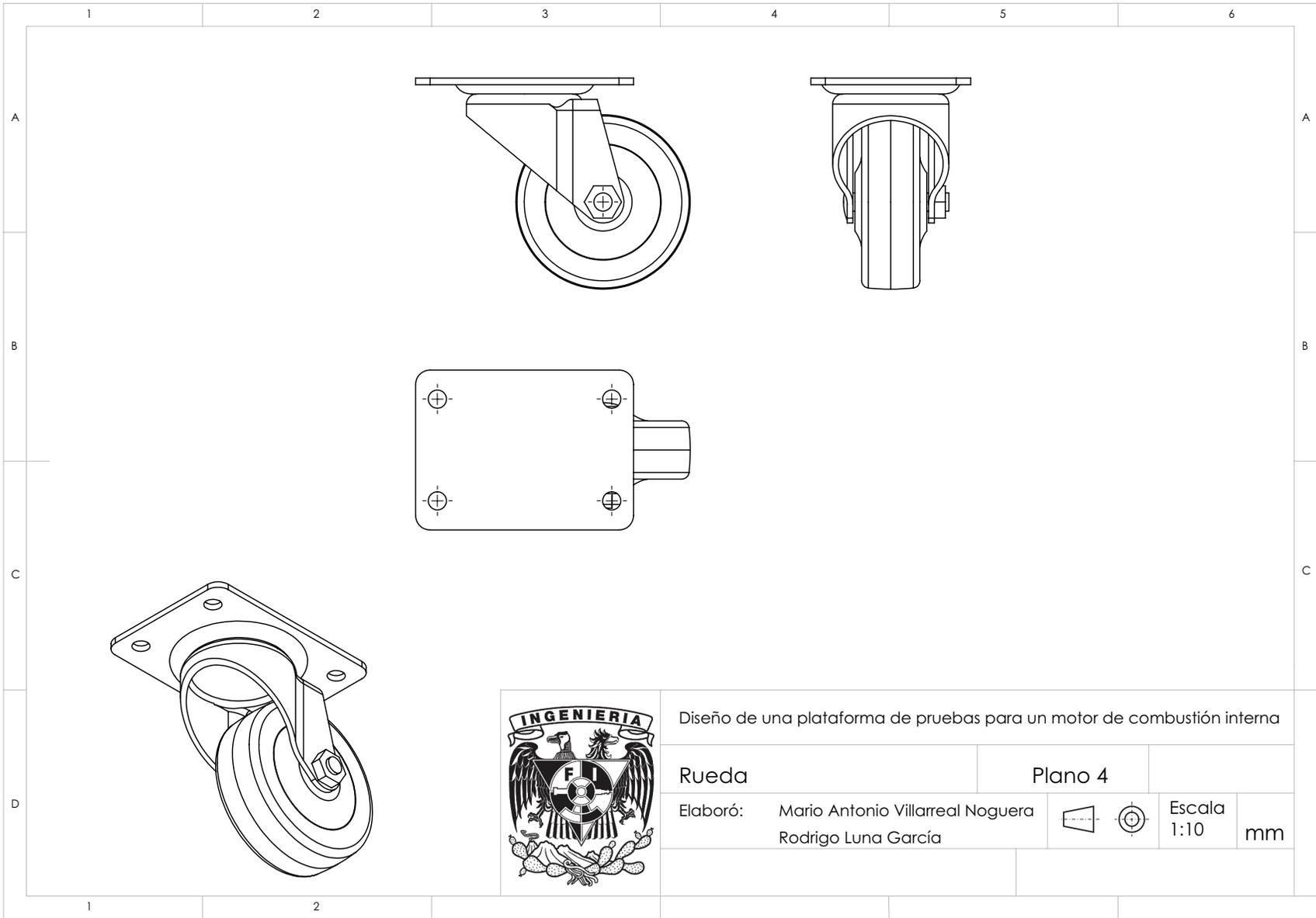
Proceso manufactura

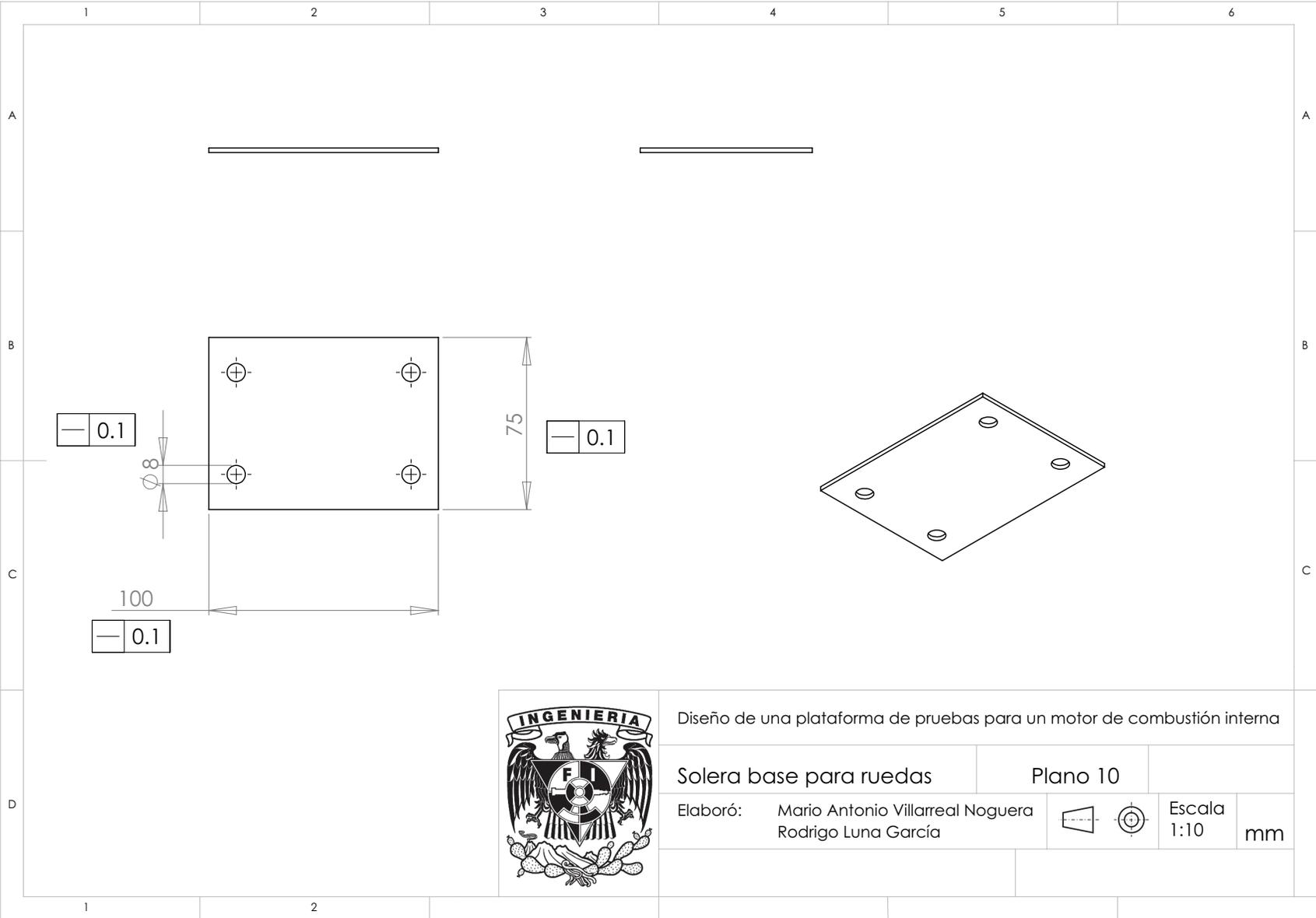
Material

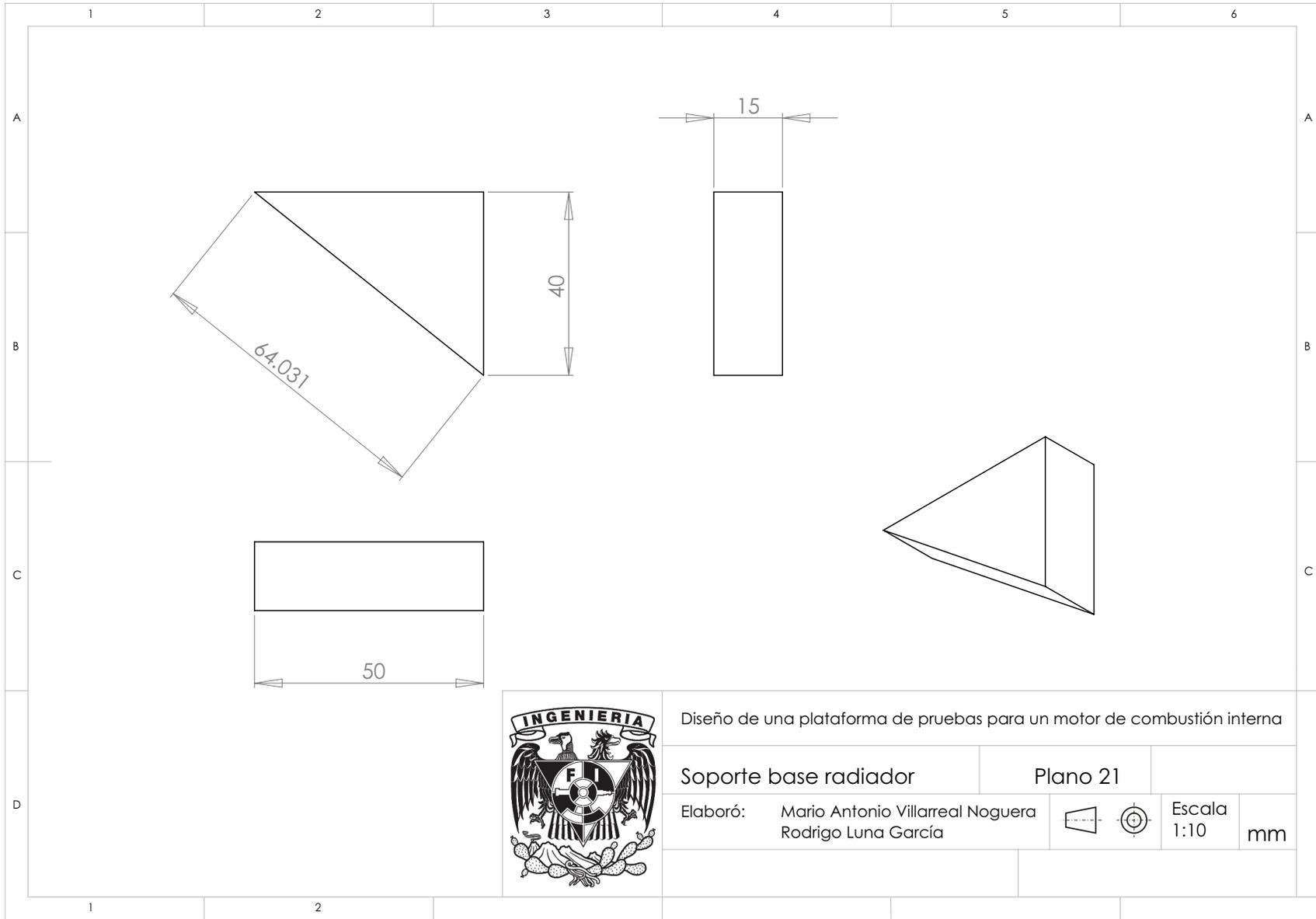










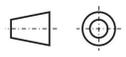


Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna

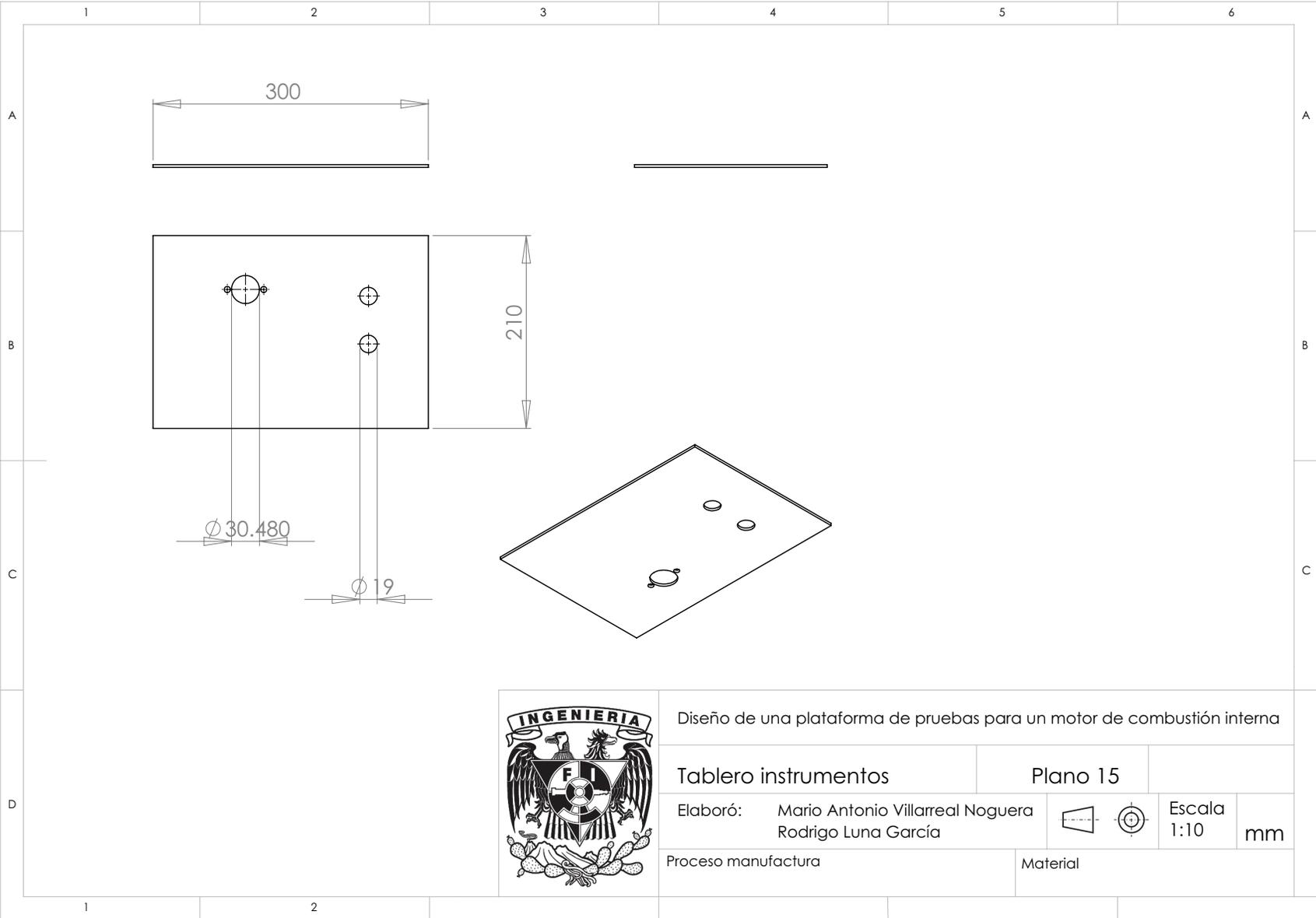
Soporte base radiador

Plano 21

Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera
Rodrigo Luna García

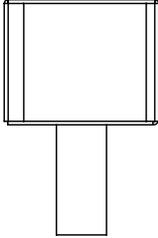
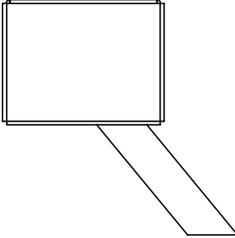
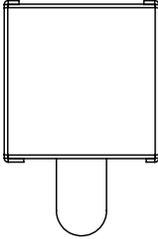
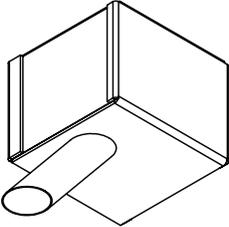


Escala
1:10 mm



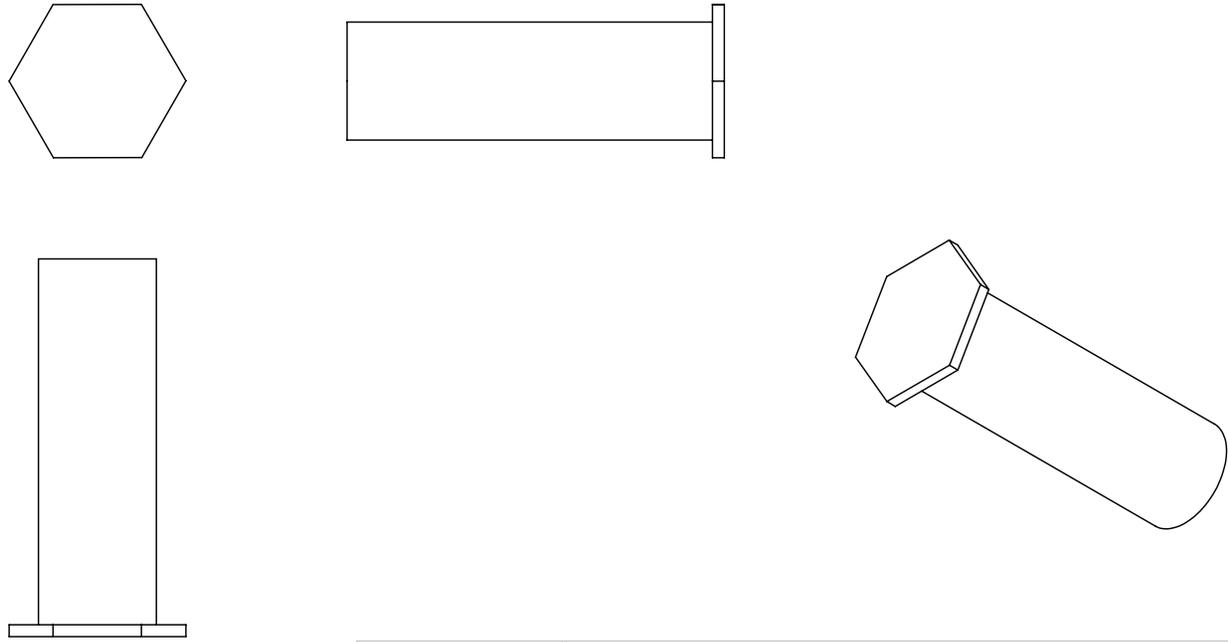
Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna

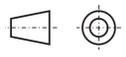
Tablero instrumentos	Plano 15	
Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera Rodrigo Luna García		Escala 1:10 mm
Proceso manufactura	Material	

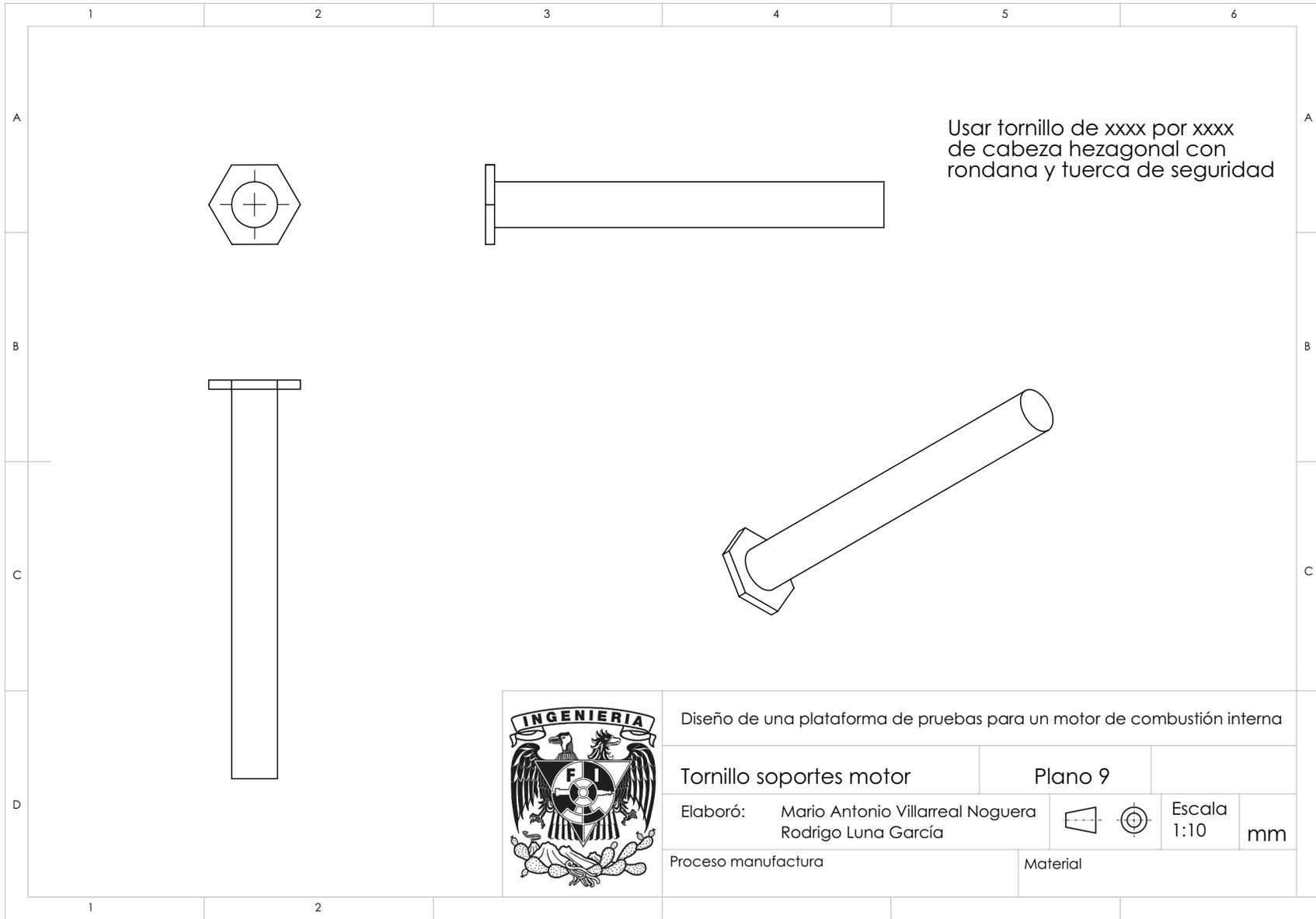
	1	2	3	4	5	6	
A							
B							
C							
D							
	1	2			<p>Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna</p>		
			<p>Tanque de gasolina</p>		<p>Plano 20</p>		
			<p>Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera Rodrigo Luna García</p>		 	<p>Escala 1:10</p>	<p>mm</p>
	1	2					

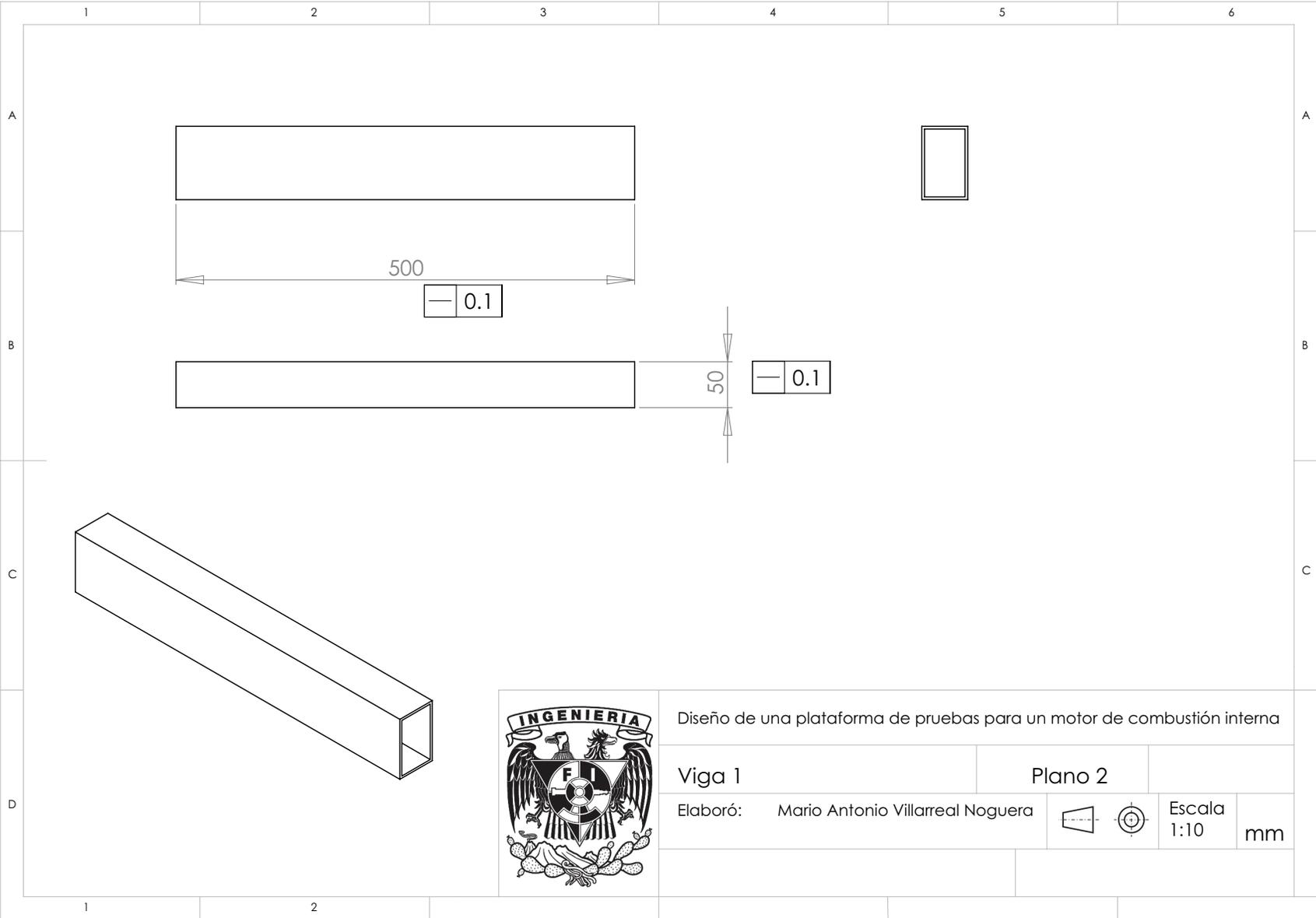
1		2		3		4		5		6	
A		B		C		A		B		C	
1		2		3		4		5		6	
D		1		2							

Usar tornillos de XXX POR xxxx con cabeza hexagonal con rondana y tuerca de seguridad



	Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna				
	Tornillo grueso		Plano 8		
	Elaboró:	Mario Antonio Villarreal Noguera Rodrigo Luna García		Escala 1:10	mm



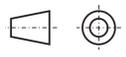


Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna

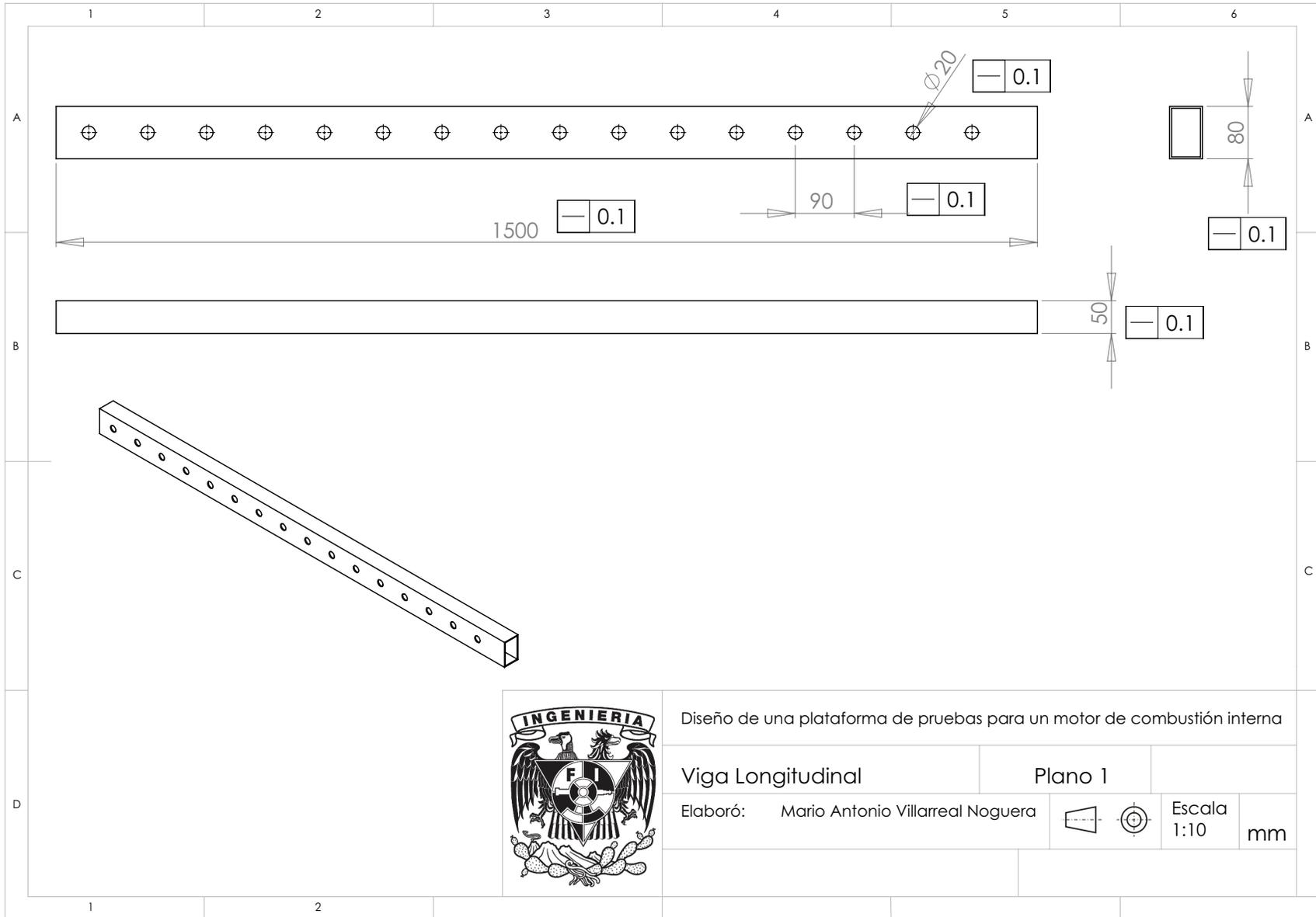
Viga 1

Plano 2

Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera



Escala 1:10 mm

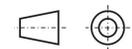


Diseño de una plataforma de pruebas para un motor de combustión interna

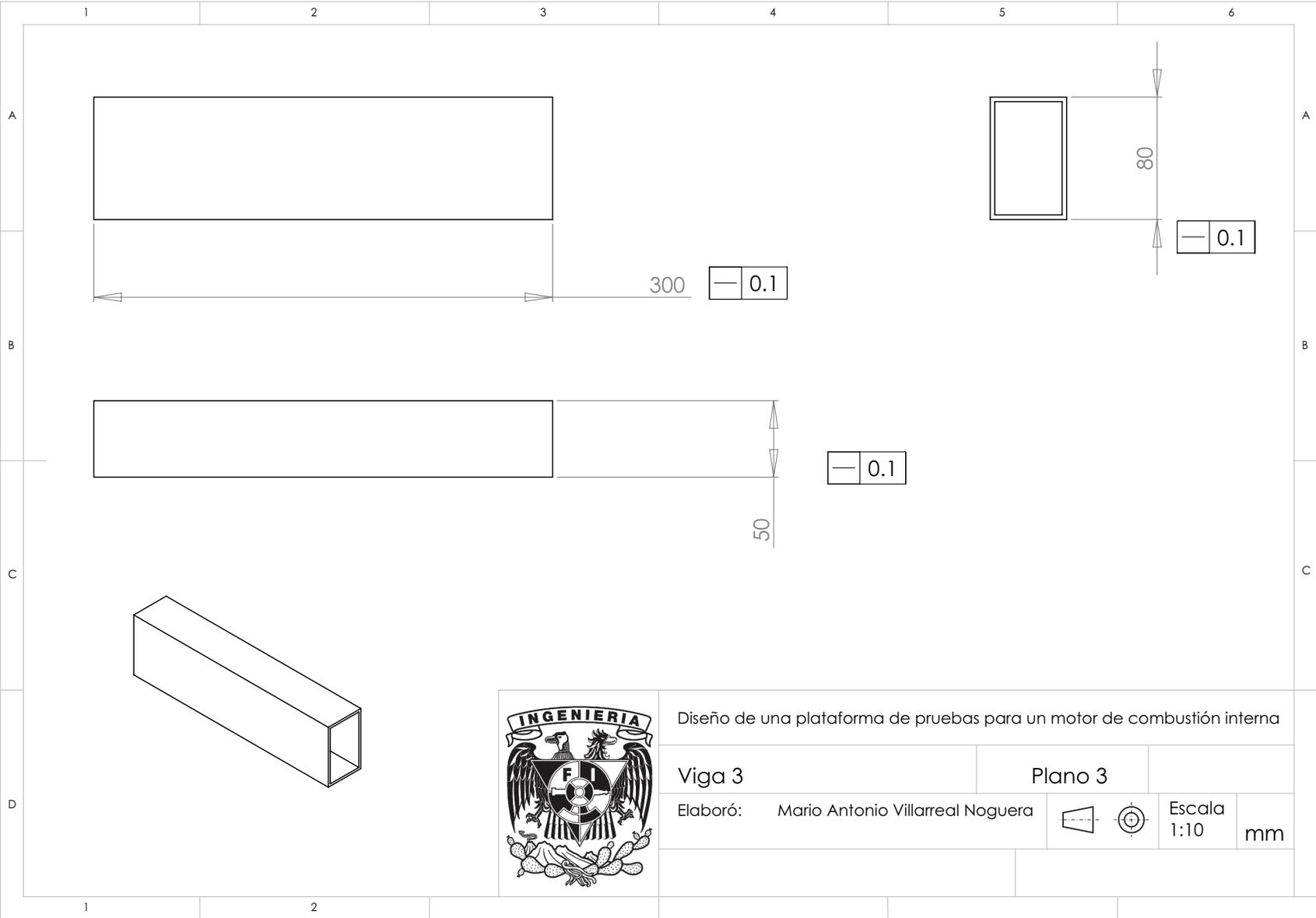
Viga Longitudinal

Plano 1

Elaboró: Mario Antonio Villarreal Noguera



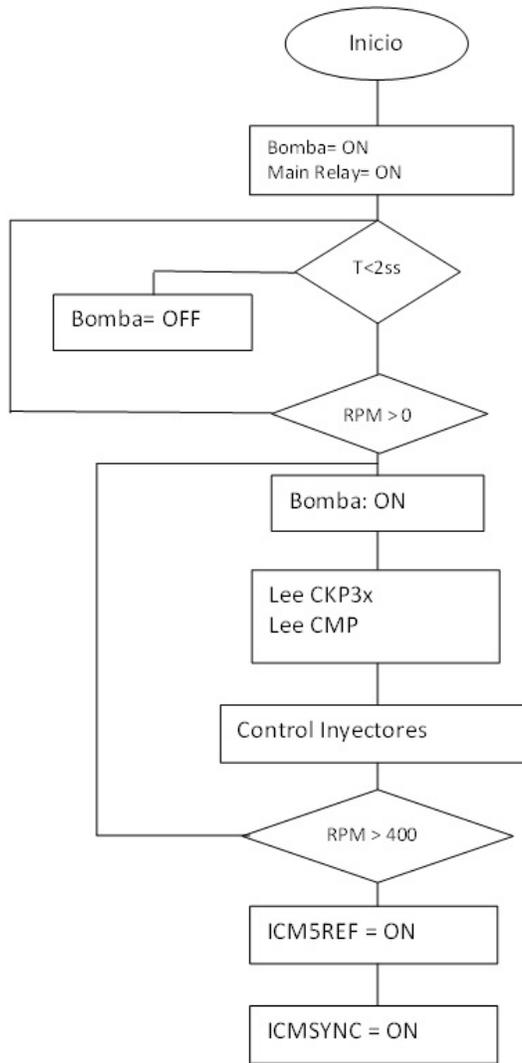
Escala
1:10 mm



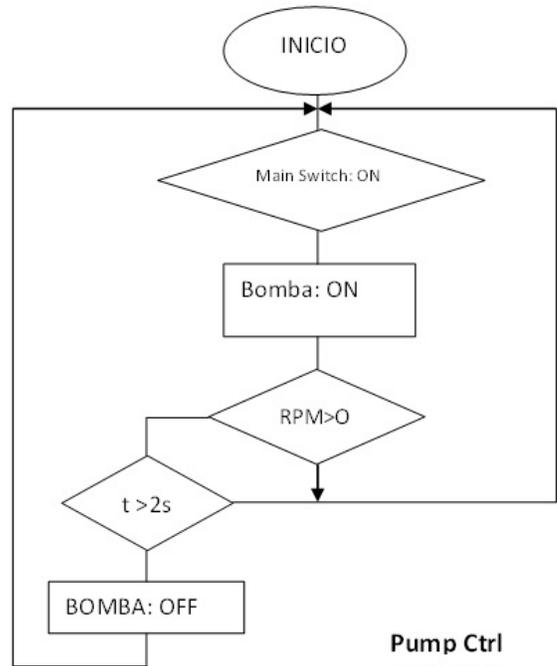
Apéndice G

Diagramas de flujo de los módulos de control

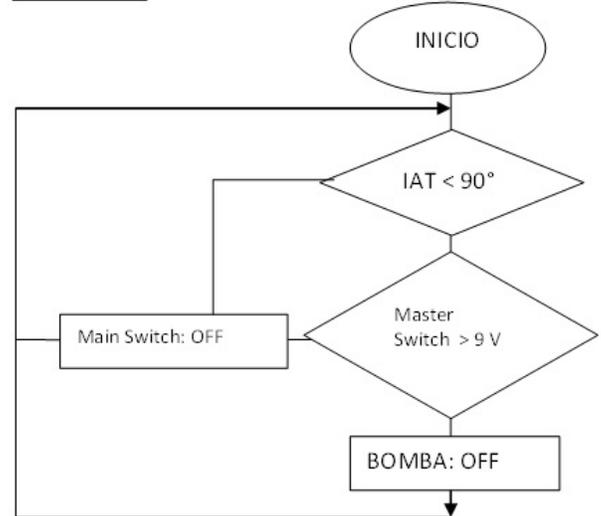
Programa Principal



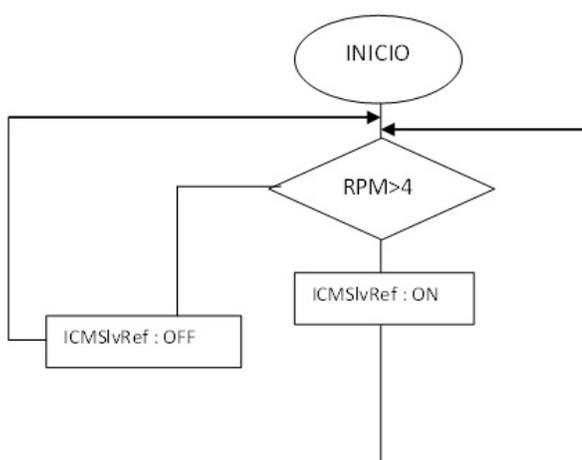
Main Switch



Pump Ctrl



ICM Slv ref



Apéndice H

Reporte de Abaqus

Field Output Report, written Wed Apr 03
20:39:08 2013

Source 1

ODB: C:/Temp/a10.odb

Step: Step

Frame: Increment 1: Step Time = 1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1

Output sorted by column "Node Label".

Field Output reported at nodes for part:
ensamble para prueba-1

Computation algorithm:

EXTRAPOLATE_COMPUTE_AVERAGE

Averaged at nodes

Averaging regions: ODB_REGION5

Node Label	U.U2 @Loc 1	S.Mises @Loc 1			
1	-62.3102E-39	2.24561	25	2.13689E-09	4.84763
2	-2.85480E-09	12.5689	26	1.57711E-09	5.84820
3	-3.16165E-09	13.9149	27	-755.253E-12	5.33690
4	-1.87620E-36	2.21357	76	669.187E-12	11.2289
5	11.7834E-36	3.25052	77	-2.83567E-09	13.0406
6	7.33213E-12	2.20890	78	-2.67613E-09	13.9562
7	729.551E-12	11.1145	79	-482.419E-39	3.63738
8	14.0576E-36	3.25185	80	-120.091E-12	2.39098
9	-666.529E-12	2.47173	81	-767.793E-12	1.98943
10	546.264E-12	10.2375	82	5.63125E-36	3.06380
11	14.7749E-36	3.09816	83	-5.46209E-36	2.15283
12	-3.67277E-09	22.3483	84	-3.80583E-36	2.61458
13	670.129E-12	11.5188	85	-21.1176E-36	4.96529
14	185.965E-12	5.19110	86	-1.94084E-12	4.71738
15	-36.8092E-36	4.82177	87	20.8619E-36	3.23569
16	-28.3962E-36	4.12330	88	20.9888E-36	3.83061
17	20.2752E-36	3.58507	89	-23.9706E-36	4.03377
18	-4.05114E-09	21.1255	90	-822.210E-12	4.26318
19	304.779E-12	11.4299	91	2.55090E-09	7.35394
20	-707.970E-12	3.52615	92	2.84689E-09	7.03813
21	568.374E-12	10.2462	93	-475.397E-12	5.28066
22	2.04165E-09	2.94286	94	-433.402E-12	6.73225
23	1.60973E-09	3.62980	95	453.860E-12	20.3405
24	734.678E-12	9.64662	96	474.054E-12	23.0119
			97	-751.389E-12	4.69517
			98	-847.685E-12	5.88046
			99	1.40833E-09	2.93778
			100	607.846E-12	9.33131
			101	485.153E-12	9.43670
			102	1.84681E-09	2.94851
			103	-1.04116E-09	5.46565
			104	-914.345E-12	5.45989
			105	1.37622E-09	6.12919
			106	1.90108E-09	2.43922
			107	-751.686E-12	3.48264
			108	245.892E-12	10.5960
			109	565.404E-12	10.4795
			110	459.801E-12	9.74773
			111	608.101E-12	11.2689
			112	-76.3233E-12	2.29485
			113	-687.100E-12	3.04745
			114	74.7472E-12	5.42041
			115	-124.535E-09	9.85431
			116	-128.530E-09	13.7728
			117	-2.64363E-09	12.2336
			118	-2.89019E-09	14.2601
			119	-3.54304E-09	22.5222
			120	-3.82272E-09	24.8134

