



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANDO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE PÉNDULO
INVERTIDO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

INGRID IRANI IBARRA ROMERO

TUTOR:

DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ



MEXICO D.F. 2013

Jurado Asignado:

Presidente: Dr. Alejandro Cuauhtémoc Ramírez Reivich

Secretario: Dr. Víctor Javier González Villela

Vocal: Dr. Vicente Borja Ramírez

1er Suplente: Dr. Leopoldo Adrián González González

2do Suplente: Adrián Espinosa Bautista

Agradecimientos.

Mis agradecimientos al patrocinio del programa UNAM – DGAPA – PAPIIT – IT03012 y UNAM – DGAPA – PAPIIT – IN118810-2.

Resumen.

Este documento describe el desarrollo del mando para un Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido (VEPI) el cual funciona bajo el principio de control del péndulo invertido (auto – balanceo) y plantea una opción al transporte público o movilidad personal.

El diseño conceptual del proyecto surgió como propuesta para la innovación en el campo automotriz en México y se desarrolló siguiendo una metodología de diseño, realizando estudios para conocer las necesidades y requerimientos de los usuarios para implementar dichas características al prototipo del VEPI.

Para el desarrollo del nuevo producto (vehículo) se formó un grupo multidisciplinario para complementar conocimientos, ideas y experiencias en cada una de las áreas involucradas (Ingeniería Mecánica, Ingeniería Mecatrónica y Diseño Industrial). Para esto fue importante aprender a trabajar en equipo, para poder realizar investigaciones, entrevistas, recolección de datos, análisis, evaluaciones, generar conceptos, diseño, manufactura y pruebas del prototipo.

Durante la realización del proyecto se generaron alternativas de solución al mismo, las cuales permitieron generar prototipos del VEPI. Finalmente se fabricó un simulador del vehículo para realizar pruebas con usuarios y así probar los principios y conceptos desarrollados por cada integrante del equipo.

Con respecto al mando del VEPI, que es el objetivo de estudio de este documento, se pensó en un diseño que fuera capaz de mover el vehículo dentro y fuera del mismo, que tuviera una interfaz amigable y evitara realizar grandes esfuerzos al usuario. Por lo que se desarrolló desde la selección de interfaz, geometría, dimensiones, materiales y se utilizaron paqueterías de diseño electrónico, de programación, módulos inalámbricos etc.

Los resultados del proyecto fueron satisfactorios ya que el prototipo del VEPI funciona bajo el principio de estabilidad de auto – balanceo por el efecto de sus actuadores controlados y se realizaron pruebas exitosas, bajo ciertas condiciones iniciales, las cuales pueden ser tomadas para un producto comercial.

Índice:

Jurado Asignado:.....	2
Agradecimientos.	3
Resumen.....	4
Índice:.....	5
1. Introducción.	7
1.1. Estructura de la Tesis.	8
2. Marco teórico.....	9
2.1. ¿Qué es el diseño?	9
2.1.1. Diseño del producto.....	9
2.1.2. Proceso de desarrollo de productos.	10
2.1.1. Primeros conceptos de diseño.	12
2.2. Descripción del proyecto.....	13
2.2.1. Principio del péndulo invertido.....	14
2.2.2. Principio de control.	15
3. Definición del proyecto.	17
3.1. Objetivo.....	17
3.2. Alcances.....	17
3.3. Enfoque del proyecto del VEPI.....	18
3.4. Equipo de trabajo.....	19
3.5. Modelos y subsistemas	21
4. Proceso de diseño del mando del VEPI.....	22
4.1. Medios de transporte.....	22
4.1.1. Diferentes tipos de interfaces para conducción de medios de transporte.....	22
4.2. Gustos y necesidades de usuarios.....	25
4.2.1. Resultados de la encuesta.....	26
4.3. Generación de conceptos.....	30
4.3.1. Selección de concepto.....	32
4.4. Búsqueda de información de patentes.	35
5. Principios de funcionamiento para el mando del VEPI.....	38
5.1. Principio de la tecnología táctil.....	38

5.1.1.	Sensor capacitivo.....	39
5.1.2.	Uso del sensor capacitivo mediante un microcontrolador	42
5.2.	Tecnologías inalámbricas	47
6.	Desarrollo de un prototipo funcional.....	48
6.1.	Desarrollo de la interfaz táctil.....	48
6.1.1.	Sensor capacitivo.....	Error! Bookmark not defined.
6.1.2.	Comparación entre el módulo de Bluetooth y el Transceiver (RFM12).....	50
6.1.3.	Configuración del módulo Bluesmif.....	54
6.1.4.	Programación del sensor.....	55
6.1.5.	Diseño de la interfaz touch	61
6.1.6.	Software para la calibración del sensor	65
6.2.	Software para mando.....	67
6.2.1.	Uso del Bluetooth de la PC.....	67
6.2.2.	Interfaz del mando.	70
7.	Pruebas y resultados.	73
7.1.	Calibración del panel táctil.....	73
7.2.	Pruebas del VEPI con usuarios.	77
8.	Conclusiones.....	79
8.1.	Trabajo a futuro.	81
	Referencias.....	82
	Anexos.....	83

1. Introducción.

Una de nuestras actividades cotidianas, es el tenernos que transportar al trabajo, escuela, supermercado etc. Por lo que tenemos que hacer uso de algún medio de transporte, en la mayoría de los casos de un automóvil.

Tomando en cuenta el incremento de la población, en los últimos 5 años, se ha registrado un aumento de venta de vehículos [1], lo cual ha estado generando cambios ambientales significativos. Y la mayoría de los usuarios de los sistemas de transporte actuales hacen recorridos cotidianos menores a 20 km.

El proyecto del VEPI (Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido) plantea una solución al problema antes mencionado, buscando optimizar los vehículos particulares, a partir del diseño de un sistema alternativo, seguro y que ocupe mucho menor espacio en comparación con los vehículos convencionales.

Para poder diseñar un producto que fuera capaz de satisfacer la necesidad real antes mencionada, se aplicó una tecnología de diseño con el fin de definir las características del diseño propuesto, por ejemplo:

- Vehículo eléctrico monoplaza de 2 ruedas.
- Auto-balanceable sin necesidad de intervención del conductor.
- Capaz de ser conducido desde el interior del vehículo así como vía remota desde un celular o computadora.

El proyecto se dividió en varias etapas: la primera de ellas fue la realización de un vehículo a escala para adquirir los conocimientos y la experiencia necesarios para lograr el movimiento y equilibrio de un móvil utilizando el principio del péndulo invertido.

Como segunda etapa, se trabajó en la investigación y desarrollo de un control automático.

La tercera etapa consistió en hacer una investigación etnográfica para el desarrollo de un modelo conceptual.

En la cuarta etapa se realizaron pruebas a funciones críticas con ayuda de un simulador para poder determinar la estructura y características finales del dispositivo. Se construyó el tren motriz del vehículo y se trabajó en paralelo con las pruebas de control y módulo de mando en dicho tren motriz.

En esta tesis se presenta el desarrollo del módulo de mando del vehículo, más adelante denominado “mando”, realizado en la cuarta etapa del proyecto.

1.1. *Estructura de la Tesis.*

En este trabajo se describirán los módulos que fueron objeto de esta tesis en particular

- En el capítulo 2 se presentan las definiciones y etapas de diseño que se tomaron en cuenta para la realización del VEPI. Además de los conceptos básicos sobre el principio del péndulo invertido y el principio de control.
- El capítulo 3 hace referencia al objetivo y alcances del mando del VEPI. Además del enfoque, el equipo de trabajo, los modelos y subsistemas del proyecto del VEPI.
- El capítulo 4 se explica el proceso seguido para diseñar el mando del VEPI tomando en cuenta, las diferentes tipos de interfaces existentes, los gustos y necesidades del usuario.
- El capítulo 5 hace referencia a los principios utilizados para realizar el sensor capacitivo y finalmente se da una explicación de las tecnologías inalámbricas.
- En el capítulo 6 se explican los pasos seguidos para desarrollar la interfaz táctil, el software para la calibración del sensor y la selección del módulo inalámbrico.
- El capítulo 7 muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo de la interfaz del VEPI.
- En el capítulo 8 se presentan las conclusiones del mando realizado para el proyecto del VEPI. También se hace mención del trabajo por realizar para la siguiente iteración del VEPI.

Al final de este documento se muestran las Referencias y los Anexos del análisis realizado para el mando del VEPI.

2. *Marco teórico.*

El proceso de desarrollo de productos se basa en una metodología de diseño, la cual permite desarrollar un producto mediante una serie de pasos bien estructurados. Cada uno de estos pasos o fases se enfoca a resolver una parte del problema hasta alcanzar una solución. En este capítulo se describen los pasos de un proceso genérico para el desarrollo de productos y las tareas involucradas en él. Para poder desarrollar el prototipo del VEPI y el mando del mismo, el equipo de trabajo siguió los pasos de esta metodología de diseño a fin de tener un orden y estructura en las actividades realizadas durante el proyecto.

2.1. *¿Qué es el diseño?*

Del latín *designare*, la palabra diseño se refiere a dar nombre o signo a algo. El término también se emplea para referirse a la apariencia de ciertos productos en cuanto a sus líneas, forma y funcionalidades. El término también se emplea para referirse a la apariencia de ciertos productos en cuanto a sus líneas, forma y funcionalidades [10].

Es una disciplina integral que hace visible a la organización en el mercado, beneficiando de esta forma su rentabilidad y la imagen percibida por el público. El diseño es una herramienta estratégica para la mejora de la competitividad de las empresas.

Diseñar es pensar antes de hacer. Analizar, planificar y ejecutar para responder a las necesidades de los usuarios.

2.1.1. **Diseño del producto.**

El diseño de nuevos productos es crucial para la supervivencia de las empresas.

La definición del producto es el resultado del desarrollo de una estrategia empresarial. Diseñar un producto es la consecuencia de tratar de solucionar o cubrir una oportunidad de negocio, que nace de una idea descubierta en los consumidores.

Un producto bien diseñado beneficia tanto a quien lo produce como a quien lo utiliza. Sus contribuciones pueden materializarse de diferentes formas, por ejemplo:

- Generar nuevos productos, a partir de tecnologías existentes.
- Introducir mejoras funcionales, estéticas y productivas en productos ya existentes.
- Innovar de manera radical o incremental en conceptos, productos y procesos.
- Mejorar la experiencia de uso de los productos, incrementando su valoración por parte de los usuarios.

- Organizar y diversificar la oferta de productos, ayudando a diferenciarlos de sus competidores.
- Facilitar la producción, optimizar costos de fabricación.
- Generar o adoptar productos a nuevos mercados, tanto nacionales como internacionales.
- Desarrollar la imagen de un producto en su totalidad (nombre, promoción, página web, etc.).

2.1.2. Proceso de desarrollo de productos.

El proceso de desarrollo de productos se basa en una metodología de diseño, la cual permite desarrollar un producto mediante una serie de pasos bien estructurados. Cada uno de estos pasos o fases se enfoca a resolver una parte del problema hasta alcanzar una solución.

El proceso de diseño es de naturaleza iterativo y basado en la resolución de problemas mediante una serie de pasos bien definidos llamados método de diseño.

Karl Ulrich plantea las siguientes fases, **Figura 2-1**, para el proceso de diseño [11].



Figura 2-1.-Proceso de diseño seguido en el VEPI.

FASE 0: Planeación.

La actividad de planeación se conoce como “fase cero” porque antecede a la aprobación del proyecto y al lanzamiento del proceso de desarrollo del producto real. Es la etapa que plantea la misión del proyecto: mercado objetivo, objetivos comerciales, suposiciones básicas y limitaciones.

FASE 1: Desarrollo del concepto.

La fase de desarrollo del concepto es la parte inicial del diseño, se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan conceptos de productos alternativos, y se seleccionan uno o más conceptos para desarrollo y prueba. Un concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general se acompaña de un conjunto de especificaciones, un análisis de productos competitivos y una justificación económica del proyecto.

FASE 2: Diseño a nivel sistema.

Es aquí donde se deben tomar las decisiones sobre la resistencia, la selección de materiales, tamaño, forma y compatibilidad de espacio entre componentes. Tres grandes tareas tienen que ver con esta fase: la arquitectura del producto, configuración del diseño y el diseño paramétrico. El resultado de esta fase usualmente incluye una distribución geométrica del producto, una especificación funcional de cada subsistema y un diagrama de flujo de proceso preliminar para la secuencia de ensamble final.

FASE 3: Diseño de detalles.

La fase de diseño de detalles incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las partes que sean únicas en el producto, y la identificación de todas las partes estándar que se van a adquirir de los proveedores. Se establece un plan del proceso y se designa el herramental para cada parte que se va a fabricar dentro del sistema de producción. El resultado de esta fase es, la documentación de control para el producto, los dibujos o archivos de computadora que describen la geometría de cada parte y su herramental de producción, las especificaciones de las partes adquiridas, y los planes de proceso para la fabricación y ensamble del producto.

FASE 4: Prueba y refinamiento.

Esta fase involucra la construcción y evaluación de múltiples versiones de producción previas del producto. Los primeros prototipos (alfa) por lo general se construyen con partes de producción ideal (con las mismas propiedades de material y geometría como se tiene pensado que serán en la versión de producción del producto, pero no necesariamente fabricadas con los procesos reales). Los prototipos posteriores (beta) por lo general se construyen con partes suministradas por los procesos de producción pretendidos. Los prototipos beta por lo general son probados por los clientes en su propio ambiente de uso.

FASE 5: Producción piloto.

En la fase de producción piloto, el producto se fabrica utilizando el sistema de producción pretendido. El propósito de dicha producción es capacitar a la fuerza laboral y resolver cualesquiera problemas que persistan en los procesos de producción. En cierto punto durante esta transición, el producto es lanzado y se encuentra disponible para su distribución generalizada.

Para poder desarrollar el prototipo del vehículo eléctrico de péndulo invertido, se siguieron los pasos de esta metodología de diseño a fin de tener un orden y estructura en las actividades realizadas durante el proyecto.

2.1.1. Primeros conceptos de diseño.

Parte del proyecto, fue identificar los gustos y necesidades de los usuarios. Para ello se realizó un estudio para recabar información directamente de personas mediante encuestas y entrevistas.

A partir de la información recabada de los usuarios, se definieron las necesidades que se esperaba cubriera un sistema de transporte similar al Segway.

Con base en las necesidades identificadas se generaron las primeras propuestas de concepto. Generando una propuesta que contemplaba un diseño similar a una silla de ruedas **Figura 2-2**.

Para mayor información del diseño y la generación de especificaciones y requerimientos del VEPI puede consultar la referencia [2] y [4].

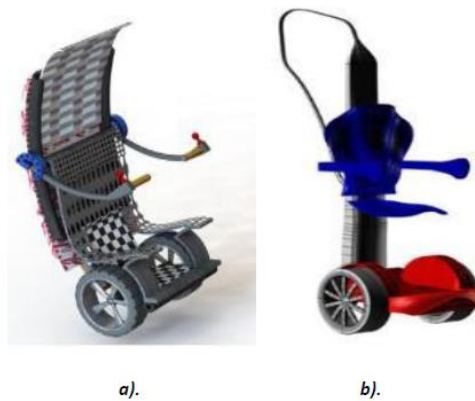


Figura 2-2.- Primeros diseños conceptuales

2.2. *Descripción del proyecto.*

Este proyecto tiene por esencia el desarrollo de un vehículo para transporte personal alternativo para su uso en distancias cortas. El constante crecimiento de la población y de las áreas urbanas ha incrementado la necesidad de transporte, el problema ya no implica solamente a quedar relegado en medio del tránsito, también la falta de aparcamiento cercano al destino final (casa, trabajo, escuela).

Se ha tratado de dar solución al problema a partir de modificaciones en las vías de comunicación, sin embargo, se ha perdido de vista otra posible solución que es la de optimizar los vehículos de transporte particulares, a partir del diseño de un sistema sustentable, ecológico, seguro y que ocupe mucho menor espacio.

Existen diversos tipos de transporte que actualmente se utilizan para recorrer distancias menores a 20 km, entre los cuales encontramos desde vehículos de tracción mecánica, vehículos con motor de combustión interna, eléctricos, etc. En las décadas recientes se ha buscado generar alternativas de vehículos eléctricos para el transporte personal, estas incluyen conceptos basados en motocicletas, triciclos y bicicletas que pueden ser impulsados por sistemas híbridos (motor de combustión-motor eléctrico, impulso humano-motor eléctrico) o bien ser totalmente eléctricos, por otra parte en años recientes, concretamente en la última década una nueva generación de concepto de vehículo eléctrico ha tomado una creciente relevancia.

Estos vehículos denominados algunas veces como “self balancing vehicles”, son completamente eléctricos y basan su funcionamiento en el principio de control del péndulo invertido, estos vehículos resultan ser bastante compactos, algunos no más grandes que una silla y pudiendo ser utilizados dentro de edificios y oficinas.

Considerando las necesidades ambientales y sociales que afectan a todas las áreas urbanas en crecimiento, y a partir de la convicción de trabajar en el diseño de un producto, que además proporcione un servicio aportando alternativas que permitan solucionar necesidades reales, se dio inicio al proyecto llamado: “Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido (VEPI)”.

Este proyecto nació a partir de la iniciativa de los estudiantes de Maestría en Ingeniería Mecatrónica, Ricardo Vásquez Leyva y Alfredo Mariscal Castillo; cuyo interés por desarrollar un sistema de control de péndulo invertido los llevo a considerar la aplicación de este sistema a un sistema de transporte alternativo para Ciudad Universitaria, como ejemplo de recorridos cortos, y tomar el proyecto como tema de titulación, el proyecto tiene grandes posibilidades de éxito considerando que no se ha desarrollado un vehículo de estas características en la UNAM y que además esta plataforma tecnológica ofrece la posibilidad de desarrollar productos con un buen número de mejoras e incremento de funciones.

2.2.1. Principio del péndulo invertido.

Como se mencionó en el capítulo 2.1.1, el VEPI funciona con el principio de un péndulo invertido, el cual se puede ejemplificar de diversas formas, siendo el más común es el que está conformado por un péndulo montado sobre un carro impulsado por un actuador que se mueve libremente a lo largo de un eje y una barra que pende de él, pero también los hay del tipo rotacional, de doble articulación en un plano inclinado y otros.

El objetivo a alcanzar es mantener el péndulo en posición vertical y tener control sobre la posición del carro. El sistema puede ser modelado como un sistema lineal considerando que las desviaciones angulares del péndulo son muy pequeñas.

El objetivo principal a cumplir en un péndulo invertido es controlar el movimiento de la masa (m) moviendo la masa (M) del carro inferior. Si la masa m se mueve de la vertical esta puede volver a su posición de equilibrio moviendo la masa M en la misma dirección hasta que se alcance la estabilidad del sistema **Figura 2-3**.

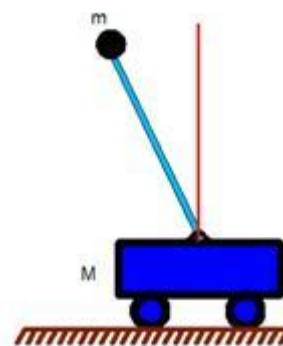


Figura 2-3.- Modelo básico de un péndulo invertido.

Este principio ha sido estudiado en diferentes universidades de todo el mundo como se observa en la **Tabla 2-1**, obteniendo diferentes prototipos de robots móviles que se desplazan usando este principio [6], [7] y [8]. Sin embargo hasta el momento en México no se ha estudiado, ni realizado algo similar con este principio.

YAIP	Two-Wheel Self-Balanced Electric	JOE: A Mobile, Inverted Pendulum	Robot WV-2R	nBot Balancing Robot
Faculty of engineering, lund university, munich	College ofAutomation, Harbin Engineering University, China	The Industrial Electronics Laboratory at the Swiss Federal Institute of Technology	Department of Modern Mechanical Engineering, Waseda University	MIT
2006	2006	2002	2009	2003

Tabla 2-1.- Prototipos de robots sobre dos ruedas, realizados en universidades.

La primera persona en implementar este principio en un vehículo para transporte personal fue Deam Kamer y fue presentado en diciembre de 2001. El vehículo fue llamado *Segway Personal Transporter* y es producido por la compañía *Segway Inc*.

El *Segway Personal Transporter* (*Segway PT* - transportador personal) es un vehículo de transporte ligero giroscópico eléctrico de dos ruedas, con autobalance controlado por ordenador. Es producido por la compañía *Segway Inc.*, con sede en Bedford, New Hampshire. A principios del año 2010 la empresa fue comprada por un grupo dirigido por el millonario británico Jimi Heselden, presidente de Hesco Bastion. Nueve meses más tarde fallecería mientras probaba uno de estos Segway [22].



El *Segway* es el primer dispositivo de transporte con autobalance. El ordenador y los motores situados en la base mantienen la base del Segway horizontal todo el tiempo. El usuario se debe inclinar hacia la dirección que quiera tomar **Figura 2-4.**

Figura 2-4.- Segway

2.2.2.Principio de control.

El vehículo de péndulo invertido puede operar en dos estados: en reposo y movimiento. Éste obtiene una posición de reposo, cuando se mueve en la misma dirección y sentido con una velocidad controlada que compensa el desplazamiento angular generado por el péndulo con respecto a un valor de referencia de cero. El movimiento compensatorio es importante ya que sin él, el péndulo rompería su posición vertical y su estabilidad hasta caer.

El control electrónico detecta el ángulo que tiene el vehículo, haciendo muestras cada intervalo diferencial de tiempo con la ayuda de un acelerómetro, el cual es un sensor inercial que entrega una señal analógica proporcional al ángulo en que se encuentra.

En el momento que la lógica de control detecta ángulos mayores a su tolerancia, se activan señales de control que actúan en los motores para que corrijan el error de la señal de control con respecto a su referencia para lograr estabilizar al sistema **Figura 2-5.**

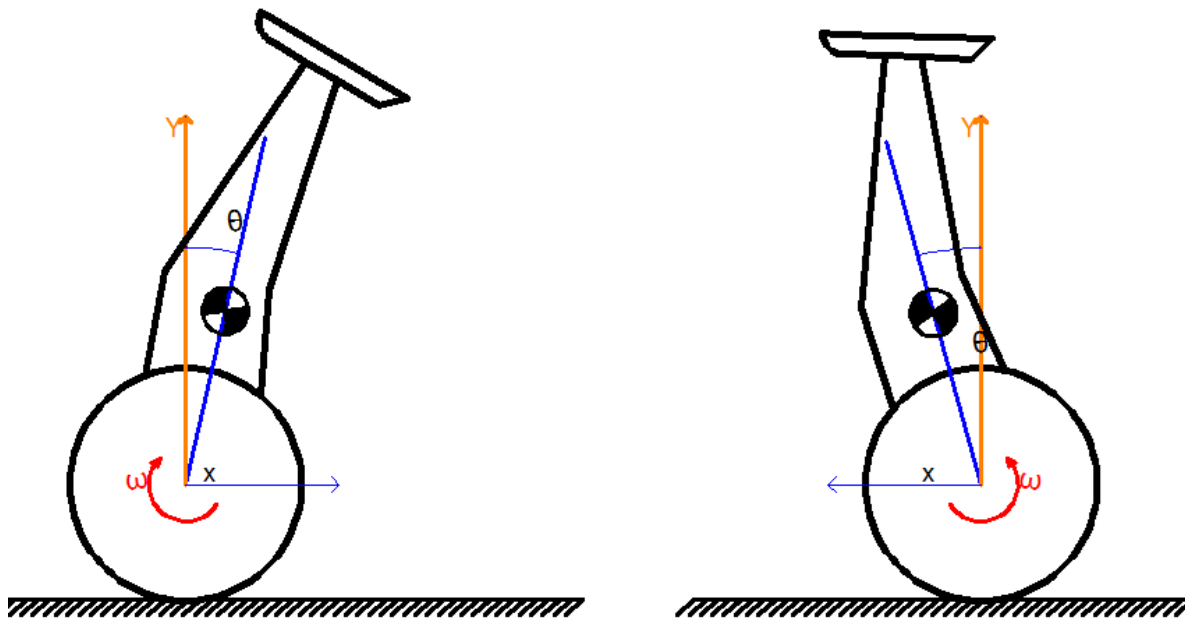


Figura 2-5.- Principio de estabilización del VEPI.

Para este proyecto se construyeron 2 prototipos a escala con la finalidad de probar el funcionamiento del sistema de control **Figura 2-6**. Las pruebas de funcionamiento del sistema de control fueron exitosas, logrando estabilizar a uno de los prototipos.



Figura 2-6.-Prototipos a escala del VEPI.

Para mayor información del sistema de control desarrollado para el VEPI puede consultar la referencia [2].

3. *Definición del proyecto.*

En este capítulo se presenta la definición del proyecto incluyendo los objetivos generales del proyecto VEPI así como los objetivos particulares de esta tesis. También se muestran las etapas seguidas en el desarrollo del proyecto y el equipo de trabajo realizó el mismo.

3.1. *Objetivo.*

El objetivo principal del proyecto del VEPI, fue desarrollar una alternativa de vehículo monoplaça, de dos ruedas que funcione a base del principio del péndulo invertido, donde la persona puede transportarse y ser conducido de manera cómoda al ir sentada y evitando realizar esfuerzos físicos. Por lo cual se decidió fijar como objetivo al proyecto del VEPI la implementación de un mando que cumpliera con los requisitos y especificaciones del usuario.

Los objetivos abarcados en esta tesis fueron:

- Diseñar un mando que permitiera mover el vehículo “VEPI”.
- Implementar un mando que sea capaz de satisfacer las necesidades y requerimientos de los usuarios potenciales. Brindando así la comodidad deseada al momento de manejo.
- Permitiera que el mando del VEPI pueda ser manejado de dos modos: manejarse vía remota, fuera del vehículo y como pasajero dentro del mismo.
- Proponer una interfaz alternativa a las actuales, sustituyendo el volante con otro dispositivo.

3.2. *Alcances.*

El desarrollo y la implementación del mando, se planteó como alcance principal para el prototipo funcional del Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido.

Previo a llegar a este desarrollo se tuvieron alcances parciales con el fin de ir desarrollando las dos modalidades mando, los cuales fueron los siguientes:

- Realizar la comunicación entre diferentes dispositivos inalámbricos.
- Desarrollar una interfaz en la computadora, para que el usuario pueda controlar el vehículo.
- Diseñar el mando táctil para el vehículo.
- Construir y probar sensores táctiles.
- Realizar pruebas de comunicación entre el mando y el controlador del vehículo.
- Montar e implementar el mando en el vehículo.

3.3. *Enfoque del proyecto del VEPI.*

En una primera etapa se planteó el proyecto VEPI con el objetivo de conocer los principios de funcionamiento y desarrollar los sistemas básicos del vehículo.

Posteriormente el enfoque que se decidió dar al proyecto fue con fines comerciales, y así poder satisfacer la necesidad de transporte, mediante el uso de vehículos compactos (mono plaza) teniendo el fin de reducir el impacto generado al ambiente, pensando en un diseño sustentable, proporcionando eficiencia y beneficios económicos y sociales, para satisfacer los gustos y necesidades de los usuarios, por ejemplo:

- Cualquier usuario con necesidades de transporte menores a 15 km.
- Usuarios con consecuencia ecológica:
 - Necesidad de uso de un vehículo que no genere emisiones contaminantes.
 - Conciencia social hacia la contaminación ambiental
- Usuarios con limitaciones físicas:
 - Necesidades de transporte dinámicas y con un mínimo o nulo esfuerzo.
 - Este tipo de usuario puede dividirse en la siguiente clasificación:
 - Personas de la tercera edad.
 - Discapacitados.
 - Simplemente personas que deseen no cansarse durante un recorrido.
- Turistas:
 - Necesidad de transporte confortable para hacer recorridos de distancias relativamente cortas, del orden de los 5 a 10 km.
 - Necesidad de transporte con velocidad moderada y una buena accesibilidad a lugares con espacios reducidos.
- Fines recreativos:
 - Orientado a clientes que busquen un momento de esparcimiento o diversión usando un producto de novedad e innovación tecnológica.
 - El producto puede ser explotado meramente como un servicio dándolo en renta por un tiempo definido.
- Centros comerciales o tiendas departamentales:
 - Los clientes se verán atraídos a los centros comerciales o tiendas que ofrezcan este servicio extra dentro de sus instalaciones.
- Lugares de trabajo:
 - Orientado a personas que tengan que transportarse dentro de sus lugares de trabajo rápidamente, por repetidas ocasiones y en instalaciones grandes.
- Estudiantes:
 - Necesidades de transporte dentro de centros educativos.

3.4. *Equipo de trabajo.*

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en cuatro etapas. Durante ellas se contó con la colaboración de varios estudiantes, de los cuales algunos de ellos realizaron su tesis de dicha colaboración.

En este apartado se hace mención de las personas que formaron parte del equipo de trabajo durante cada etapa y sus funciones.

Primera etapa:

- Ricardo Vásquez Leyva (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
 - Definición del proyecto.
 - Investigación.
 - Estudio comparativo y patentes.
 - Sensores y electrónica asociada.
 - Filtros digitales.
 - Diseño y construcción de un prototipo de prueba.
- Alfredo Mariscal Castillo (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
 - Definición del proyecto.
 - Investigación.
 - Estudio comparativo y patentes.

Segunda etapa:

- Ricardo Vásquez Leyva.
- Alfredo Mariscal Castillo.
- Rubén Darío Ortega Navarrete (Estudiante de maestría en Ingeniería Mecatrónica, UNAM).
 - Diseño e implementación del circuito de control.
 - Investigación etnográfica.
 - Elaboración de un plan de negocios.
 - Investigación de marco legal.
 - Diseño conceptual.
 - Análisis de sustentabilidad.
 - Elaboración de un modelo sólido.
 - Diseño de detalle.

Tercera etapa:

- Ricardo Vásquez Leyva.
- Alfredo Mariscal Castillo.
- Ariel Alonso de la Torre Ramos (Estudiante de Diseño Industrial de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez).
 - Primera iteración del proceso de diseño.

Cuarta etapa:

- Ingrid Irani Ibarra Romero.
 - Diseño e implementación del mando de operación.
- Ricardo Vásquez Leyva.
 - Construcción y adaptación de circuito de control.
 - Diseño de circuito de potencia.
 - Ajustes del control automático.
- Alfredo Mariscal Castillo.
- Hugo Vargas (Estudiante de Ingeniería Mecánica, UNAM).
- Alfonso Gonzales (Estudiante de Diseño Industrial, UNAM).
 - Segunda iteración del proceso de diseño.
 - Construcción y pruebas de simulador.
 - Definición de diseño conceptual.
 - Construcción de prototipo.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó en paralelo el diseño del vehículo y los sistemas para el prototipo, como se muestra en la **Figura 3-1**.

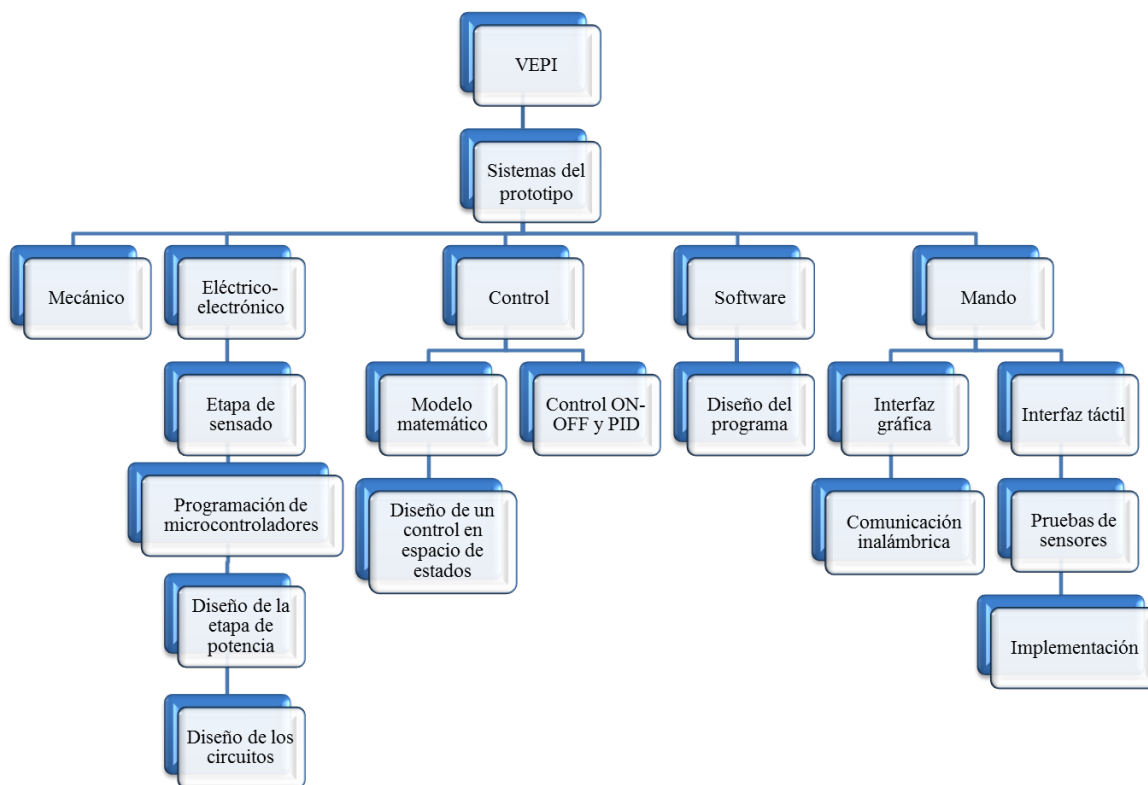


Figura 3-1.-Diagrama de integración de los módulos del proyecto VEPI.

3.5. *Modelos y subsistemas*

Para la implementación del prototipo funcional, el proyecto fue dividido en 5 módulos con el fin de poder desarrollar en paralelo los componentes principales del vehículo.

- *Eléctrico - Electrónico.*- Selección y adquisición de sensores y actuadores: Baterías, motores y componentes electrónicos (giroscopio, acelerómetro, microcontroladores, reguladores, etapa de potencia) [2].
- *Mecánico.*- Diseño y manufactura de la estructura del vehículo, considerando como base para esto la geometría de un péndulo invertido [3] y [4].
- *Software de monitoreo.*- Diseño y programación de una *software* que fuera auxiliar en el monitoreo de las variables del sistema [2].
- *Control de estabilidad.*- Diseño de la ley de control que fuera capaz de estabilizar al vehículo [2].
- *Mando del vehículo.*- Se diseñó un mando que fuera la interfaz con el usuario para conducir al vehículo desde dentro del mismo así como de manera inalámbrica.
- *Diseño conceptual.*- Se desarrollaron *renders* del diseño final del VEPI [5].

En el diagrama de la **Figura 3-1** se muestra la integración de los módulos independientes para la realización de un prototipo funcional.

4. *Proceso de diseño del mando del VEPI.*

En este capítulo se describe el proceso seguido para el diseño del mando del VEPI considerando la comparación de diversos modos de manejo existentes, los gustos de los potenciales usuarios y realizando una nueva propuesta de conducción de un vehículo.

4.1. *Medios de transporte.*

El transporte es un medio de traslado de personas, bienes o cosas de un lugar hasta otro. El transporte comercial moderno está al servicio del interés público e incluye todos los medios e infraestructuras implicadas en el movimiento de las personas o bienes, así como los servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes. Como en todo el mundo, el transporte es, ha sido y será un elemento central para el progreso o el atraso de las distintas civilizaciones y culturas [12].

4.1.1. **Diferentes tipos de interfaces para conducción de medios de transporte.**

A lo largo de la historia se han utilizado diferentes formas de manejo para realizar la movilidad de un medio de transporte.

En un principio se utilizaban acciones mecánicas, como el empuje y arrastre de la carga, siendo el humano el que proporcionaba la fuerza, haciendo uso de un brazo de palanca para realizar el movimiento. Posteriormente se sustituyó al ser humano por animales, como los caballos, los cuales se podían controlar con cuerdas para indicarles la dirección deseada. Pero con la invención de la máquina de vapor se dio paso a nuevos medios de transporte, como el tren y posteriormente vehículos más sofisticados que requerían de una interfaz para manejar el transporte, como palancas y volantes.

A continuación en la **Tabla 4-1** se hace una comparación de los diferentes tipos de mandos utilizados en los vehículos más comunes, así como su facilidad de conducción y la habilidad requerida para conducirlos.










Medio de transporte	Imagen	Control de dirección	Control de Velocidad	Requerimientos para conducir	Posición de manejo	Comodidad de manejo
Vehículo		Volante	Palanca y pedal	Dos brazos y dos piernas	Sentado	Muy cómodo
Motocicleta		Manubrio	Manubrio y pedal	Dos brazos y dos piernas	Sentado	Cómodo
Metro		Vías	Palanca	Un brazo	De pie	Incómodo
Bicicleta		Manubrio	Pedal	Dos brazos y dos piernas	Sentado	Incómodo
Lancha		Timón	Palanca	Dos brazos	De pie	Incómodo
Silla de ruedas		Manual (diferencia de velocidades)	Fuerza	Dos brazos	Sentado	Incómodo
Silla de ruedas eléctrica		Palanca	Palanca	Un brazo	Sentado	Poco cómodo
Segway		Desplazamiento de masa (cuerpo)	Desplazamiento de masa (cuerpo)	Dos brazos	De pie	Incómodo
I - unit		Palancas	Palancas	Dos brazos	Sentado	Muy cómodo

Tabla 4-1.- Comparación de las características de los diferentes medios de transporte investigados.

Como puede observarse en la figura los mandos de los vehículos se resumen a volantes y palancas, todos estos elementos mecánicos que permiten la conducción intuitiva del vehículo.

Cada uno de los mandos mostrados en la **Tabla 4-1** permite la conducción de su propio sistema, para el VEPI se planteó hacer uso de estos principios como base y poder generar un mando innovador y único.

4.2. *Gustos y necesidades de usuarios.*

Como parte de la estrategia para poder identificar los gustos y necesidades de los usuarios potenciales se realizaron las siguientes actividades:

1. Se realizaron 187 encuestas y se utilizaron recursos informáticos para aplicarla al público en general. Como datos relevantes se consideraron:
 - Se evaluaron los gustos y preferencias de los usuarios.
 - Se usó un Software vía internet para recabar la información.
2. Se realizaron entrevistas verbales y escritas a usuarios de Segway en el bosque de Chapultepec, en virtud de que este vehículo es el producto más similar que existe al proyecto que estamos desarrollando **Figura 4-1**.
3. Observación del usuario interactuando con el vehículo en diferentes ambientes para detectar aspectos relacionados con sus reacciones, gesticulación y lenguaje corporal.



Figura 4-1.- Comentarios de usuarios potenciales.

La finalidad de las mencionadas actividades fue obtener información en los siguientes puntos:

- El interés del público en usar vehículos ecológicos.
- La percepción de los encuestados sobre los vehículos eléctricos.
- Las características más importantes en un vehículo según los usuarios.
- Los hábitos relacionados con el uso de vehículos.
- El valor que un vehículo podría tener para estos usuarios potenciales.

- Gustos y preferencias.
- Ventajas o desventajas que cada vehículo ofrece.
- Costos para venta y renta que el cliente potencial estaría dispuesto a pagar.
- Áreas de oportunidad para nuestro diseño.
- Edad de usuarios.
- Nivel socioeconómico.

4.2.1. Resultados de la encuesta.

En este apartado se muestran la **Figura 4-2**, **Figura 4-3**, **Figura 4-4**, **Figura 4-5**, **Figura 4-6** y **Figura 4-7**, que son algunas gráficas de los resultados de las respuestas de las encuestas.

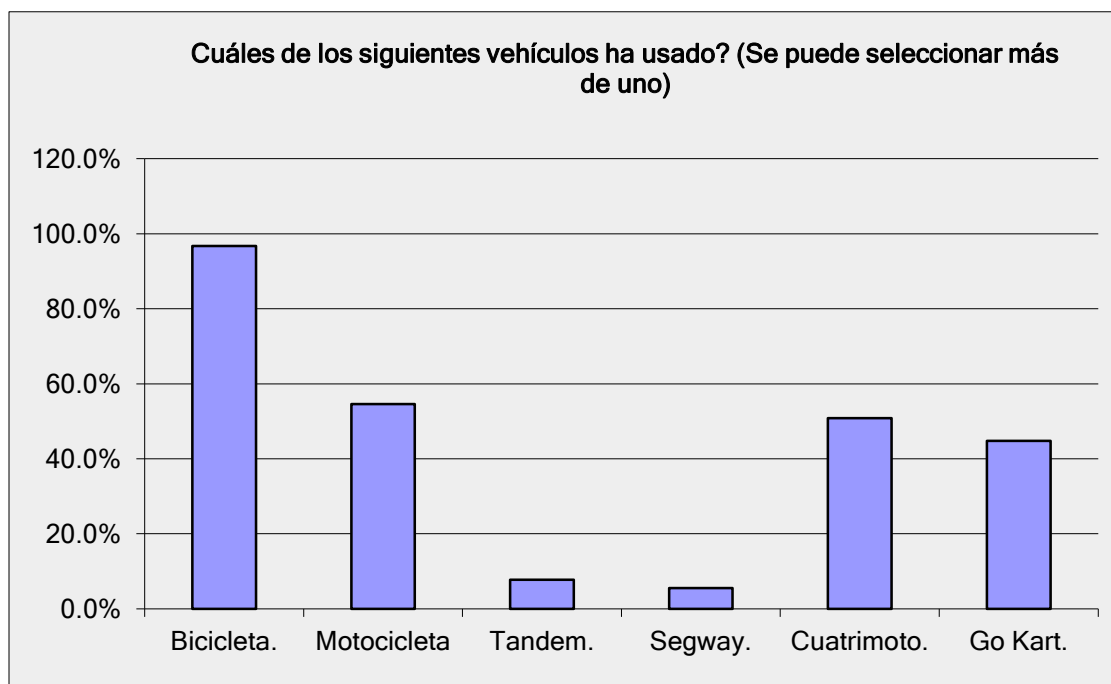


Figura 4-2.- Vehículos que han sido más utilizados por los encuestados

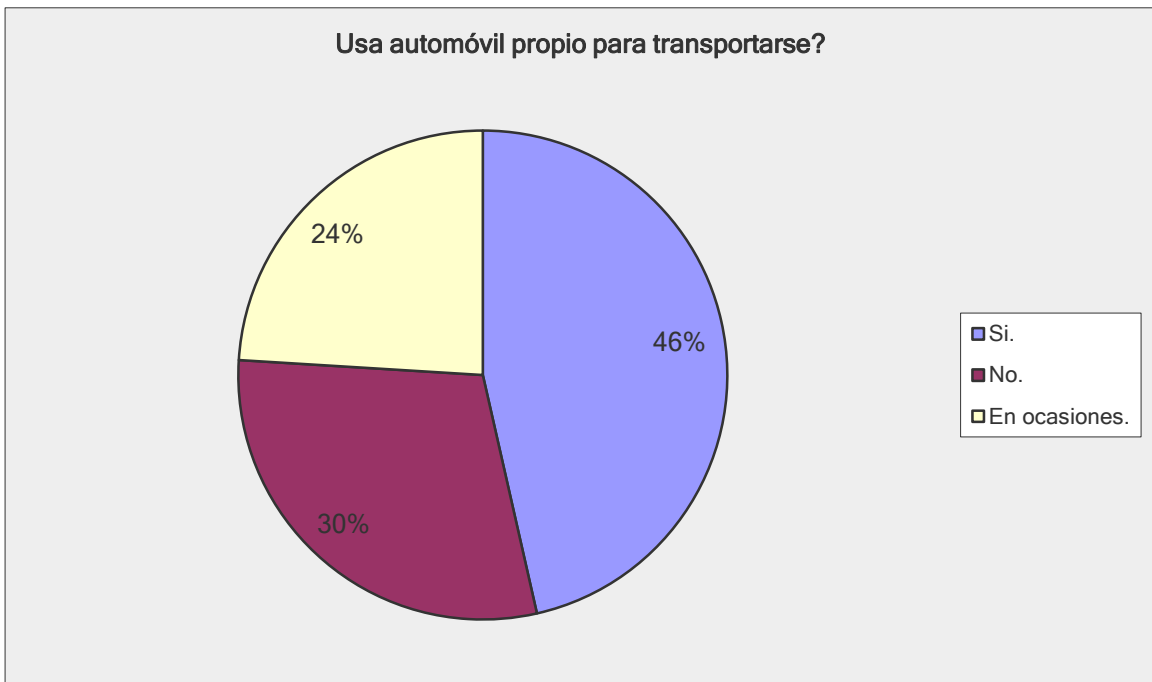


Figura 4-3.- Cantidad de personas que se transportan en automóvil propio

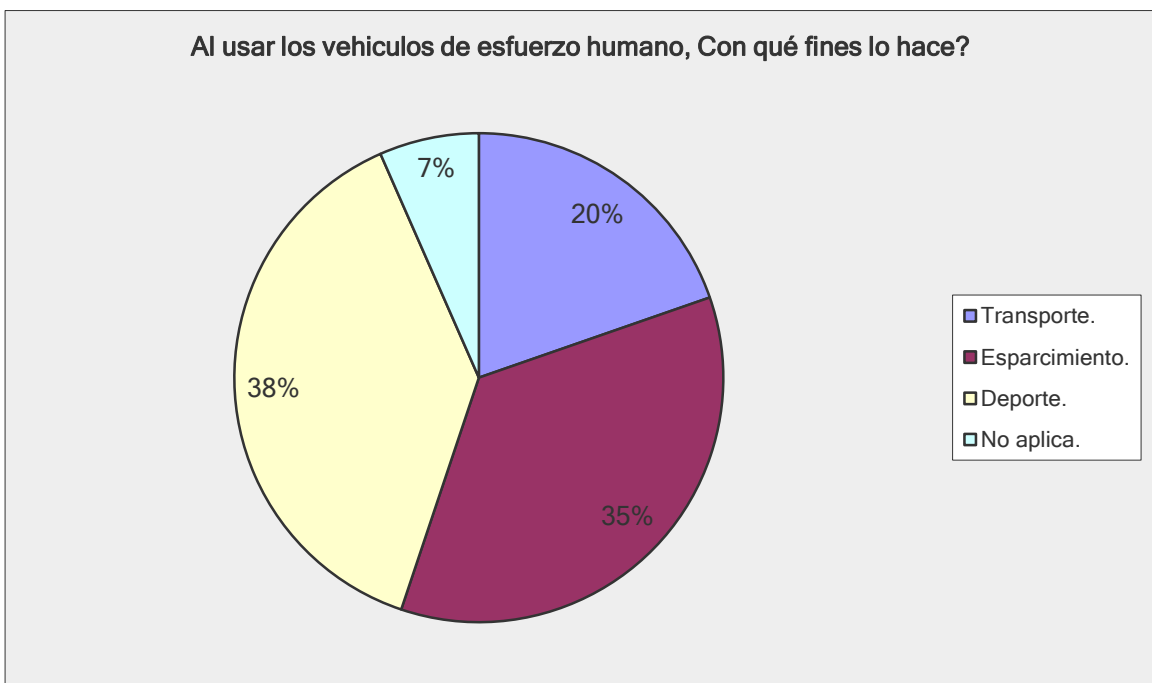


Figura 4-4.-Con que finalidad se usan los vehículos que requieren esfuerzo humano

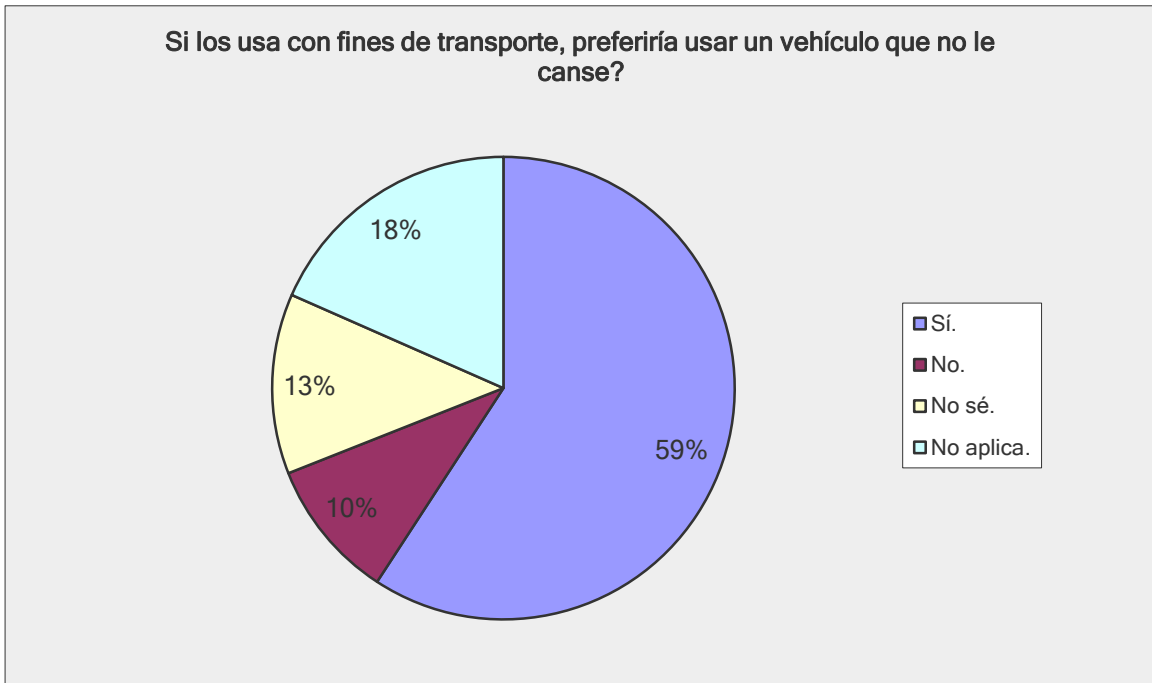


Figura 4-5.-Preferencia de los usuarios sobre el uso de vehículos que no generen cansancio durante su uso

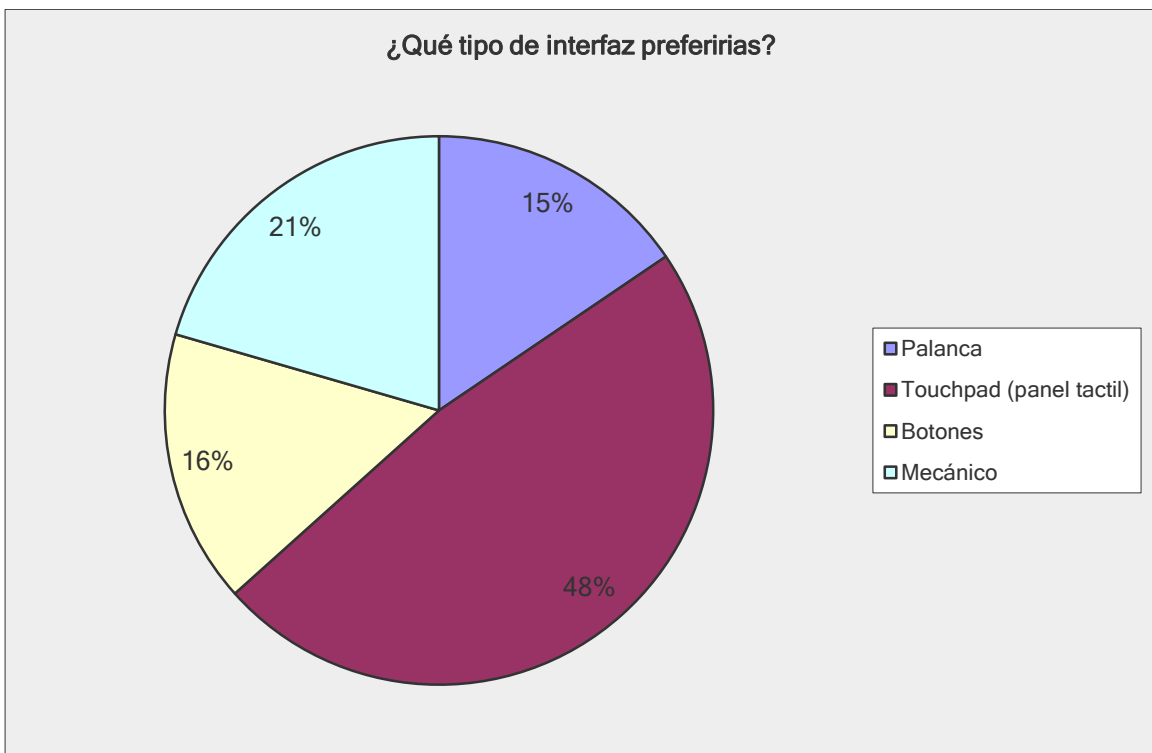


Figura 4-6.-Preferencias sobre el tipo de interfaz de manejo

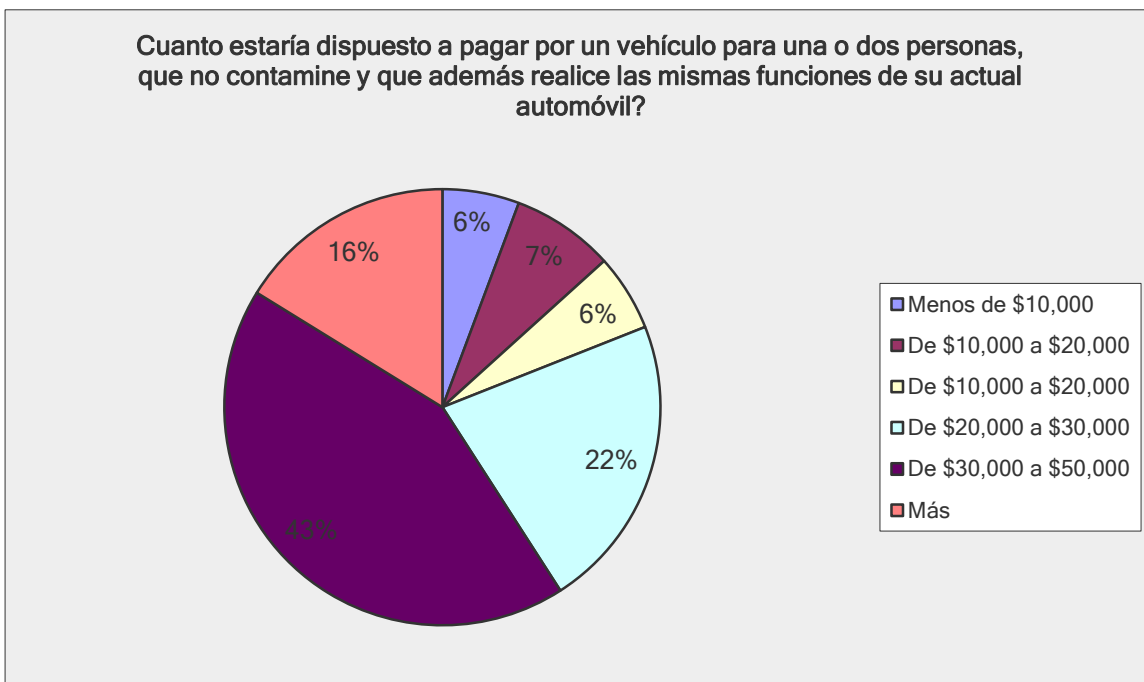


Figura 4-7.-Precio que estarían dispuestos a pagar por el vehículo

Las encuestas y gráficas obtenidas en línea arrojaron información interesante para la etapa de diseño, por ejemplo:

- Las características más importantes en un vehículo según los usuarios son: que sean seguros, que sean económicos, que tengan un gasto energético bajo y que sean ecológicos respectivamente. Esto abre una ventana de oportunidades para vehículos eléctricos.
- Los vehículos que demandan un esfuerzo físico son utilizados en su mayoría para fines de esparcimiento o como deporte, para transporte la población prefiere vehículos que no cansen en su operación.
- El interés en general por usar vehículos ecológicos es bastante alto, pero la percepción de la gente es que el adquirirlos puede ser muy costoso. Por este motivo el uso de vehículos motorizados es muy alto. Aun así, un mayor porcentaje estaría dispuesto a pagar entre \$30,000 y \$50000 por un vehículo que sustituya funciones del actual y que contamine menos.

Los demás resultados (gráficas) obtenidos de la encuesta se pueden encontrar en el apartado de Anexos.

4.3. *Generación de conceptos*

Con base en los resultados de las encuestas y el estudio de los tipos de mandos de vehículos existentes se propusieron diferentes alternativas para controlar el movimiento del VEPI desde su interior.

- **Desplazamiento del manubrio.**- esta opción permite al usuario poder mover el vehículo con el desplazamiento del manubrio **Figura 4-8**, al desplazar el manubrio hacia abajo, el VEPI se mueve hacia adelante, al subir el manubrio el VEPI se desplaza hacia atrás y al inclinar el manubrio a la izquierda o a la derecha el VEPI gira en la dirección de la acción mecánica.



Figura 4-8.- Diagrama de mando con manubrio.

- **Desplazamiento de masa.**- En este modo de manejo se propuso que el pasajero moviera todo su cuerpo para sacar el centro de masa del VEPI de la vertical **Figura 4-9**, de esta manera el VEPI intenta compensar el desequilibrio moviéndose en la dirección del centro de masa.

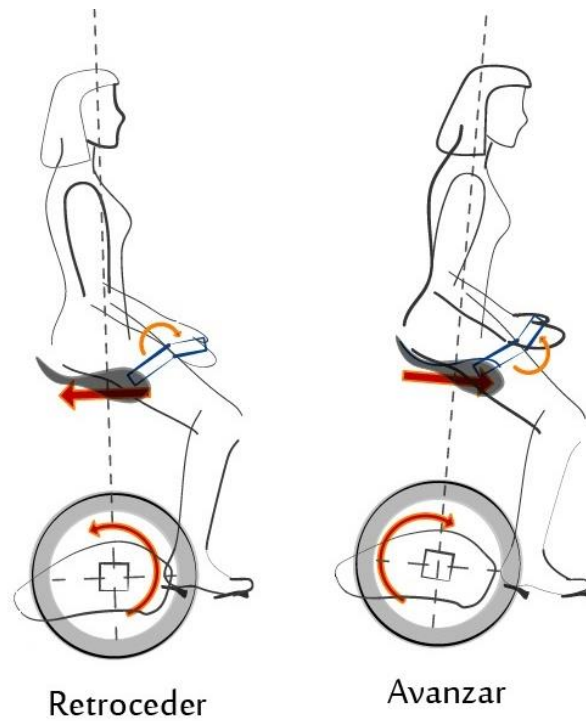


Figura 4-9.- Diagrama de mando con movimiento de masas.

- **Uso de un mando *Touch*.**- Esta propuesta contempla el uso de un mando que no requiera movimiento del pasajero, que únicamente se requiera el uso de los dedos para poder controlar el movimiento del VEPI, [Figura 4-10](#). El pasajero puede mover el VEPI usando botones táctiles si requerir esfuerzo alguno



Figura 4-10.- Diagrama de mando con Touchpad.

4.3.1. Selección de concepto

En esta sección se muestra la comparación que se hizo para la selección del concepto a implementar en el VEPI. Se compararon las características más importantes para el desarrollo del mando.



Figura 4-11.- Comparación de los mandos considerando el esfuerzo requerido y la intuición de manejo.



Figura 4-12.- Comparación de los mandos considerando el esfuerzo requerido al conducir y la innovación de la propuesta.

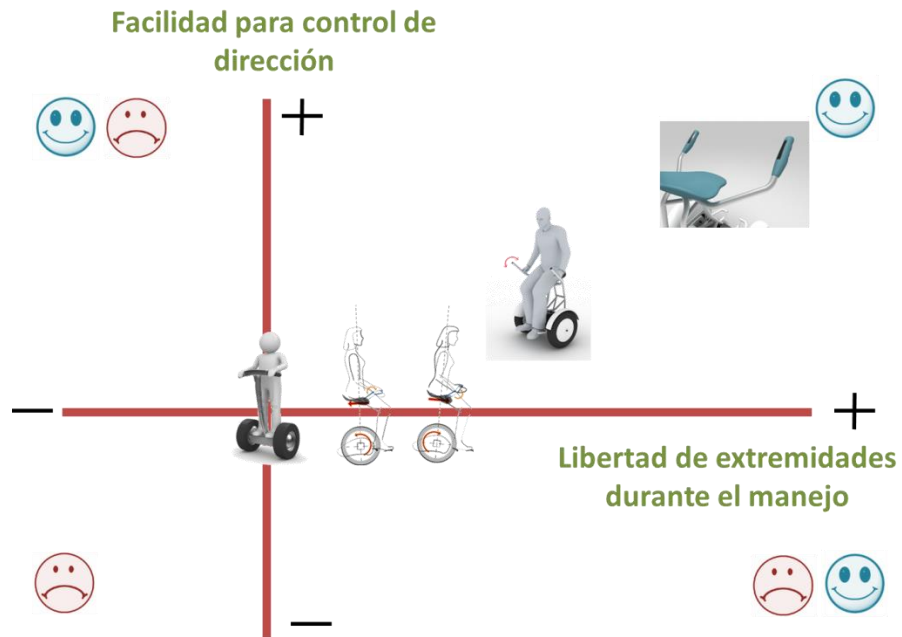


Figura 4-13.- Comparación de los mandos considerando el control de dirección del vehículo y la libertad de extremidades durante el manejo.



Figura 4-14.- Comparación de los mandos considerando el control de dirección y el control de velocidad del vehículo.

En la **Figura 4-11**, **Figura 4-12**, **Figura 4-13** y **Figura 4-14** se muestran las tablas comparativas de las 3 propuestas de mando, teniendo como referencia el vehículo “Segway”, que es el producto con mayor similitud al VEPI.

Considerando que el primer cuadrante de las tablas comparativas, contiene las características deseadas por el usuario, se puede observar que la propuesta del *touchpad* es la más adecuada para su implementación en el VEPI.

Con los análisis antes realizados, se decidió construir el mando del tipo *touchpad*, ya que proporciona facilidad de conducción al usuario, reduce el esfuerzo en su uso. Además de tomar en cuenta la innovación y valor agregado que le da al vehículo y del reto que conlleva la construcción de un panel táctil.

El uso de la tecnología táctil en el VEPI pondría a la vanguardia al vehículo ya que poseería la misma tecnología que los dispositivos electrónicos de comunicación más comunes actualmente, como lo son la computadora y el teléfono celular.

Considerando que el tipo de manejo no requiere que el usuario haga movimiento de su masa para la conducción del vehículo se propuso poder controlar el VEPI de manera remota, lo que permitió que el pasajero no requiriera moverse en lo absoluto para poder mover el VEPI, ya que una persona distinta al pasajero puede conducir el vehículo desde una computadora o un celular.

En el capítulo 5 se realiza una introducción a estos elementos, con los cuales se realizaron los 2 tipos de interfaz para el manejo del VEPI.

4.4. *Búsqueda de información de patentes.*

Se buscaron patentes, relacionadas con el tema de la tecnología táctil y la conducción vía remota en los vehículos. Para conocer el estado del arte y poder generar propuestas de lo diseñado con anterioridad.

A continuación se muestran las patentes obtenidas en esta etapa de la investigación.

1. - Multi – Touchpad Multi – Touch user interface

En esta patente se propone usar 2 *touchpads*, como los de las *Laptops*, como accesorio para el volante, **Figura 4-15**, la idea es detectar la posición de los pulgares sobre cada *touchpad* y poder activar diferentes dispositivos del vehículo, como la radio, el clima etc., sin tener que despegar las manos del volante.

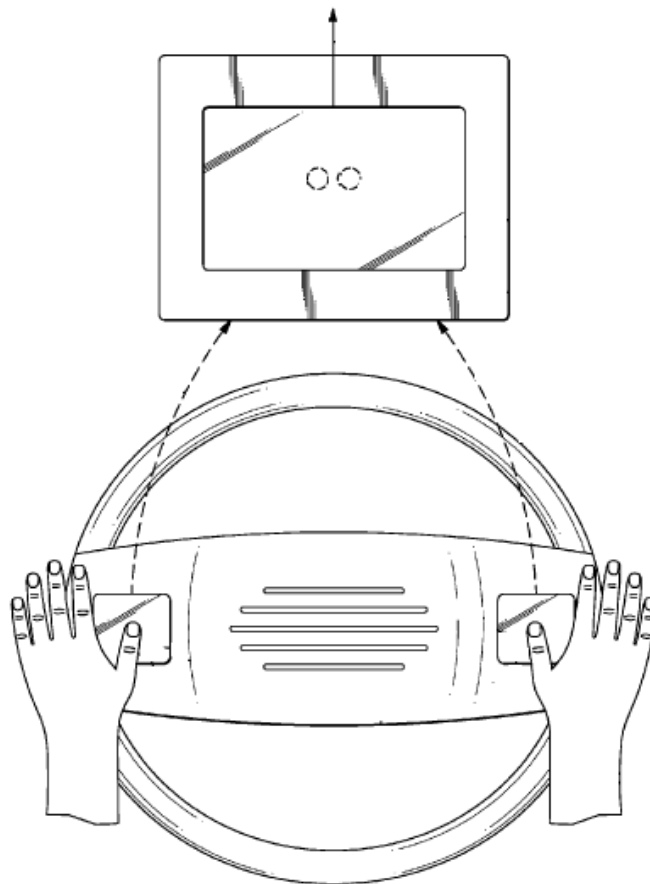


Figura 4-15.- Imagen de la patente “Multi – Touch”.

2. - Remote touchpad device for vehicle and control method thereof

Esta es una propuesta de un mando remoto, usando un touchpad para detectar la posición del dedo sobre el mismo y saber la dirección deseada, **Figura 4-16**. Sin embargo el sensor depende la presencia de la luz sobre el dispositivo para poder detectar la presencia del dedo.

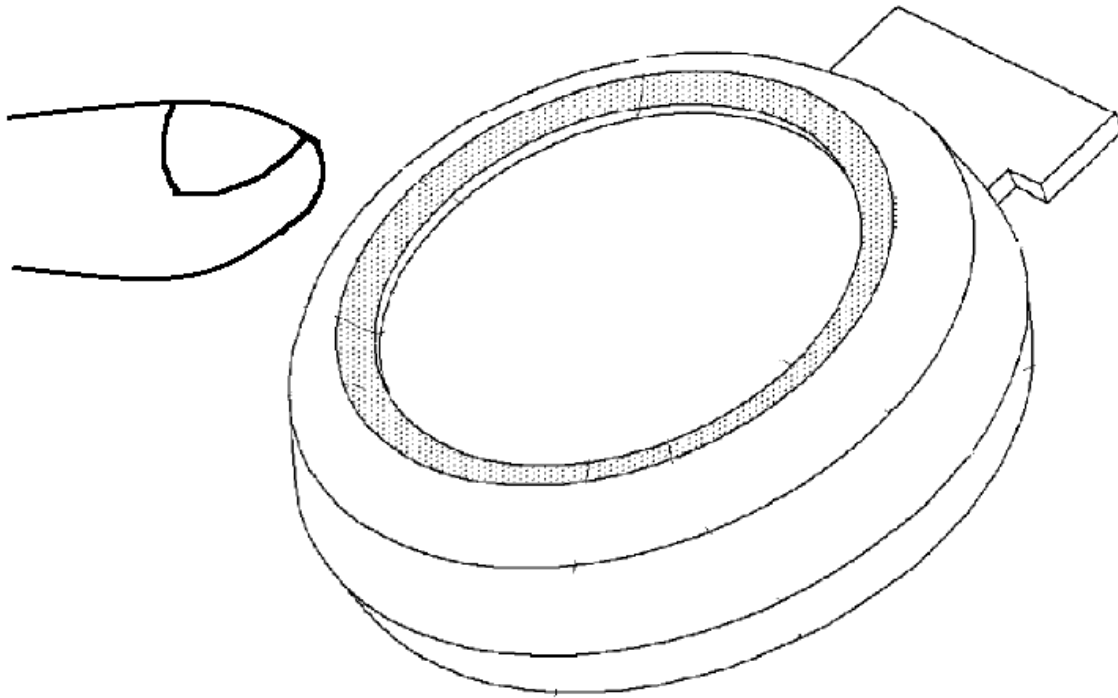


Figura 4-16.-Imagen de la patente “Remote touchpad”

3. - Motor vehicle.

Esta patente presenta el uso de un panel sobre el volante para poder manejar los accesorios del vehículo usando diferentes botones, **Figura 4-17**.

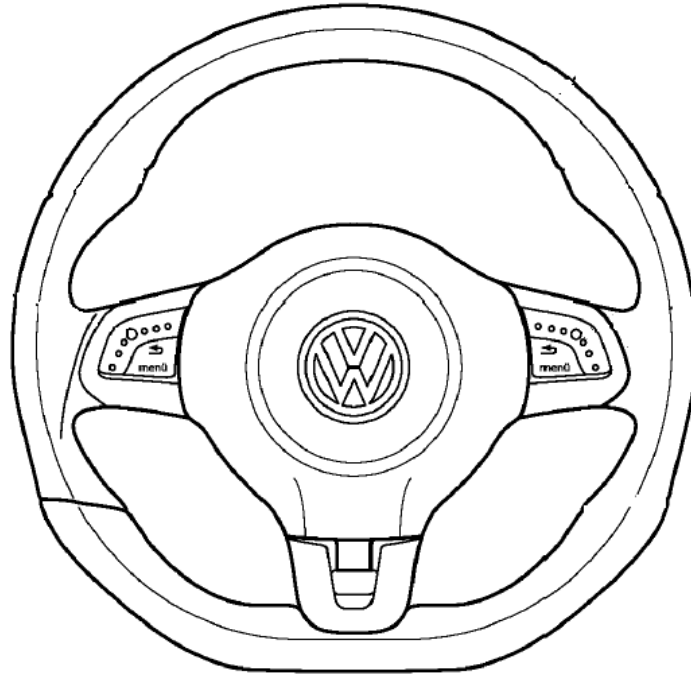


Figura 4-17.- Imagen de la patente “Motor vehicle”.

Como se puede observar en las patentes encontradas, no existe una propuesta totalmente innovadora en cuanto al manejo del vehículo desde su interior, ya que los sensores táctiles empleados son accesorios del volante, y estos solo sirven para manipular los dispositivos del tablero, sin embargo la conducción del vehículo sigue siendo el volante.

5. Principios de funcionamiento para el mando del VEPI.

En este capítulo se presentan los conceptos, especificaciones y principios teóricos necesarios para entender el funcionamiento del vehículo y de la interfaz (mando), así como la explicación y uso de los sensores táctiles y dispositivos de comunicación.

5.1. Principio de la tecnología táctil.

La tecnología táctil puede ser fácilmente integrable con todo tipo de microcontroladores por lo cual, actualmente es utilizada ampliamente en diversos dispositivos como, videojuegos, controles remotos, teléfonos móviles, reproductores portátiles, electrodomésticos, periféricos para computadoras, entre muchas otras aplicaciones.

Las ventajas y características que ofrece un sensor capacitivo son mostradas en la **Tabla 5-1**:


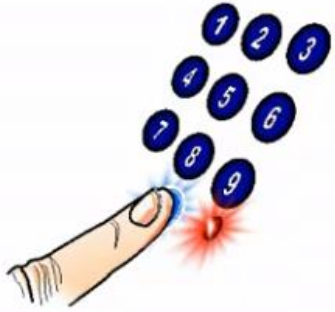
	Interfaz mecánica	Interfaz táctil
Imagen		
Acción mecánica	Requiere acción mecánica	No requiere acción mecánica
Estructura	Estructura expuesta	Estructura sellada
Forma de interfaz	Diseño único	Libertad de diseño
Superficie	Superficie con irregularidades (ranuras bordes, saliente, etc.)	Superficie lisa
Vida útil	Limitada por el desgaste mecánico (depende del número de ciclos de uso)	No sufre desgaste mecánico (por fricción) y es inmune a la corrosión
Facilidad de limpieza	Complicada	Simple

Tabla 5-1.- Comparación de las características de las interfaces investigadas.

5.1.1. Sensor capacitivo.

Como alternativa a los sensores mecánicos existen los sensores táctiles, entre ellos el sensor capacitivo.

Un sensor capacitivo se basa en la medición de un incremento de capacitancia entre dos materiales como se muestra en la **Figura 5-1**.

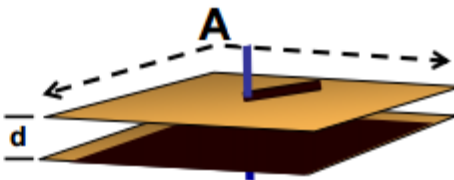
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$


Figura 5-1.- Ecuación que describe la capacitancia entre dos materiales.

Dónde:

ϵ_0 = Permeabilidad del vacío (aire).

ϵ_r = Constante dieléctrica relativa.

A = Área de las placas.

C = Capacitancia.

d = Distancia entre placas del capacitor.

Como se puede observar en la ecuación las variables más importantes, porque se pueden manipular más fácilmente, son la distancia y el área.

La distancia es inversamente proporcional al valor de la capacitancia **Figura 5-2**. Y el área es directamente proporcional al valor de la capacitancia, esto se tomará en consideración posteriormente para el diseño de los pads.

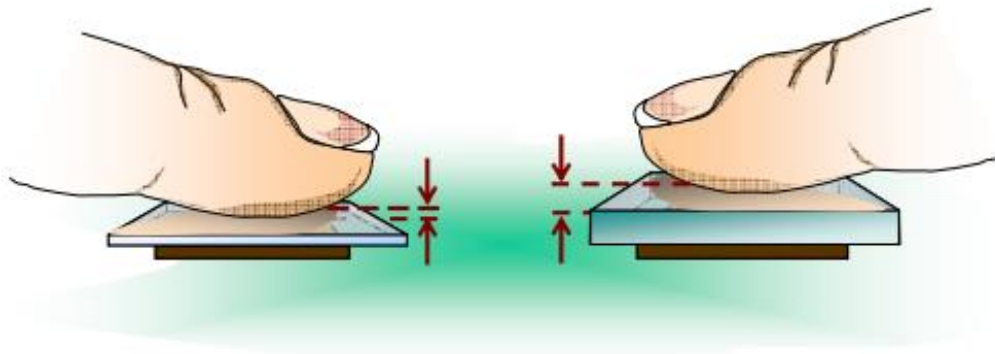


Figura 5-2.- Ejemplo de dos dieléctricos con espesor.

Inicialmente se crea un capacitor abierto entre el pad de cobre (la tecla capacitiva) y la tierra del circuito, lo cual nos da una capacitancia parásita (C_P) **Figura 5-3**, que es el valor de referencia o el valor mínimo del circuito, es decir la capacitancia inicial del sensor.

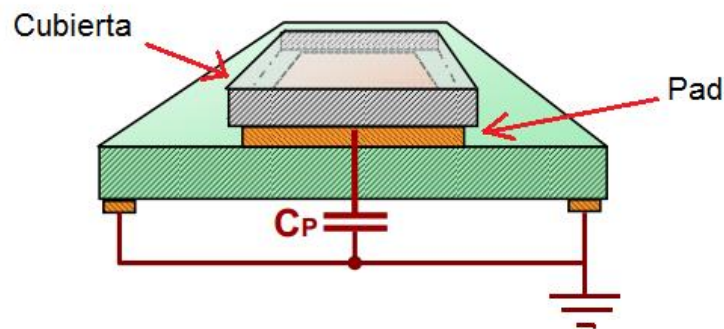


Figura 5-3.- Diagrama simplificado de un circuito táctil.

El circuito antes mencionado va cubierto o protegido por una placa o dieléctrico, la cual generalmente es un vidrio o acrílico [13], aunque también se puede utilizar otro tipo de material como láminas de metal o polímeros flexibles, ya que ésta es la superficie que estará en contacto con el usuario **Figura 5-4**.

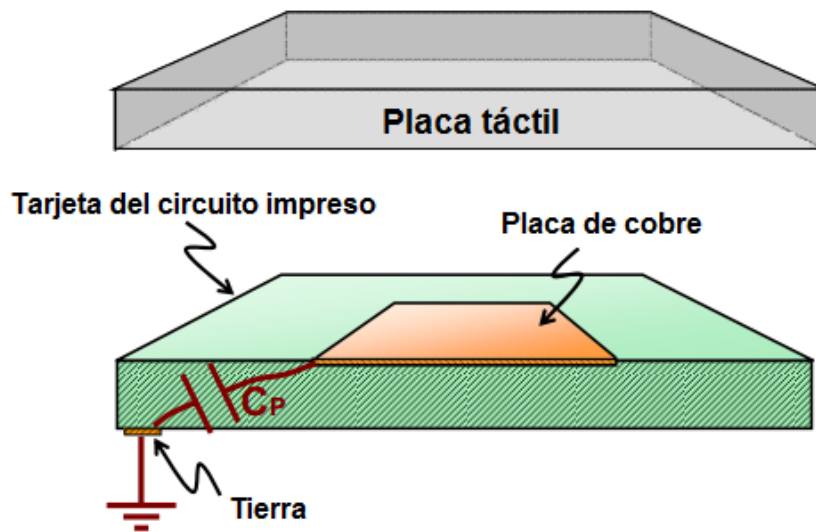


Figura 5-4.- Partes que integran un circuito táctil.

La configuración anterior funcionará como sensor táctil al momento que una persona apoye el dedo sobre el pad, esto generará una capacitancia adicional denominada *Capacitive Finger* (C_F) **Figura 5-5** debido a que el dedo genera una capacitancia respecto a la tierra del circuito [14].

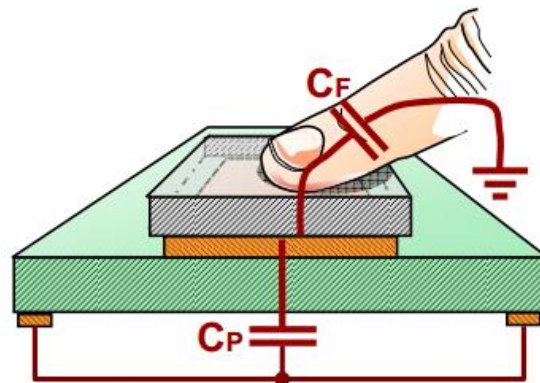
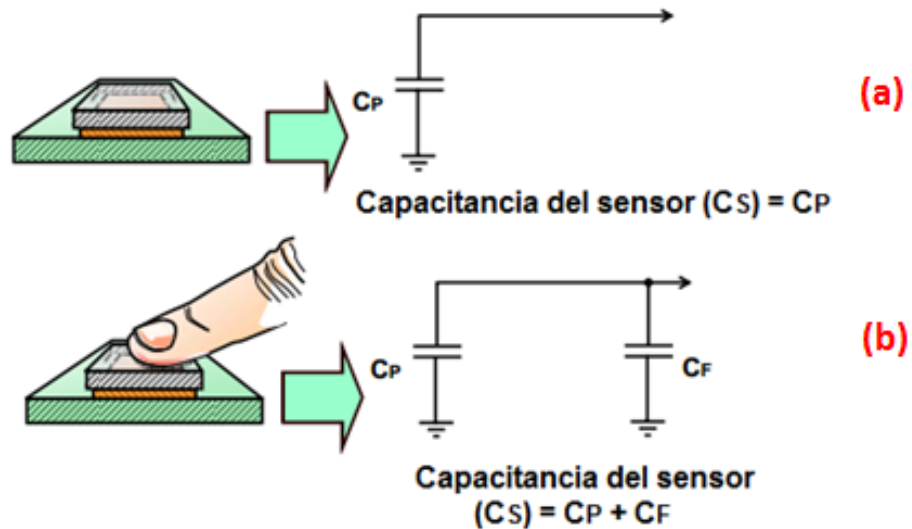


Figura 5-5.- Capacitancia generada por el dedo al interactuar con el circuito táctil.

El hierro de la sangre permite que al acercar el dedo a un conductor, éste genere una segunda capacitancia acoplada a la tierra del circuito.

Debido a que la capacitancia depende del dieléctrico (el dedo), nos permite calibrar el sensor para que solo sea activado en presencia de un dedo e ignore otros materiales.

El circuito equivalente a este sería tener las dos capacitancias en paralelo **Figura 5-6**.



*Figura 5-6 (a).- Circuito equivalente del sensor en estado de reposo.
(b).- Circuito equivalente del sensor al ser activado por el dedo.*

La capacitancia introducida por el dedo es muy pequeña en el rango de 5 a 15 [pF], por lo que se debe considerar tener la mayor área de contacto posible entre el pad y el dedo [15].

5.1.2. Uso del sensor capacitivo mediante un microcontrolador

Para medir la variación de la capacitancia del sensor, mediante un microcontrolador se utiliza la técnica llamada “*Variación de frecuencia de un oscilador de relajación*”

Esta técnica se basa en la constante de tiempo $\tau = RC$ que carga el capacitor y es calculada multiplicando la resistencia del sistema por su capacitancia. Recordando que la constante de tiempo es el tiempo que le toma al capacitor llegar al 63% del voltaje de alimentación y en 5 veces la constante de tiempo llega al 99% del voltaje de alimentación **Figura 5-7**.

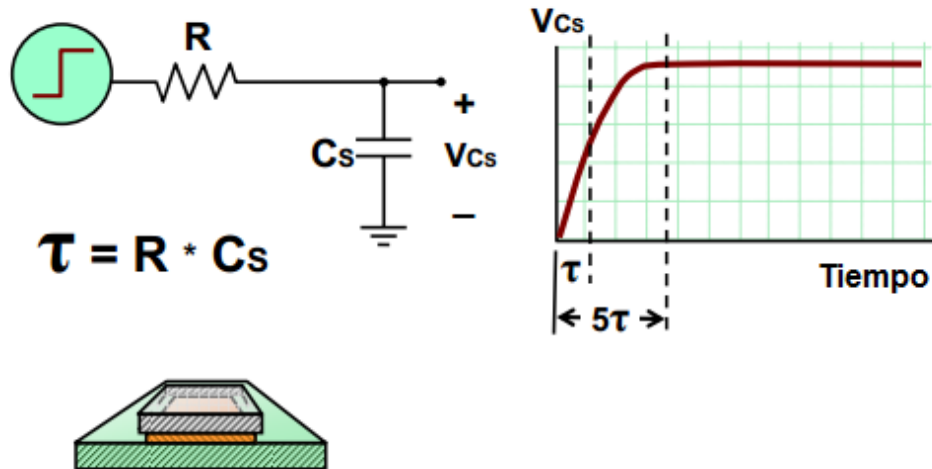


Figura 5-7.- Respuesta natural del sensor al aplicar voltaje.

La constante de tiempo del sensor sin la presencia del dedo genera la curva de carga de la gráfica de la [Figura 5-7](#)

Al presionar el sensor con el dedo la capacitancia incrementa y con ello la constante de tiempo dando como resultado la curva de carga de la [Figura 5-8](#).

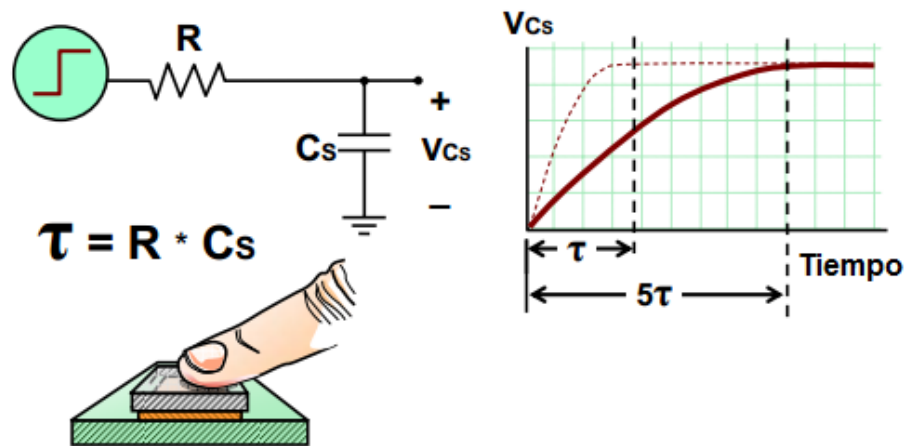


Figura 5-8.- Respuesta del sensor al ser activado con el dedo.

Para medir esta variación con el microcontrolador se utiliza el circuito de la [Figura 5-9](#) el cual utiliza dos comparadores y un Latch SR para medir el voltaje en el sensor capacitivo V_{Cs} .

El voltaje en V_{Cs} va conectado a la entrada inversora de ambos comparadores donde el comparador C1 tiene como referencia $2/3$ del voltaje de alimentación V_{DD} , con la salida negada y el comparador C2 tiene como referencia $1/4$ de V_{DD} .

Entonces la salida de C1 será cero lógico (0V) cuando V_{CS} sea menor que $2/3$ de V_{DD} y para C2 su salida será uno lógico (5V) cuando V_{CS} sea inferior a $1/4$ de V_{DD} [16].

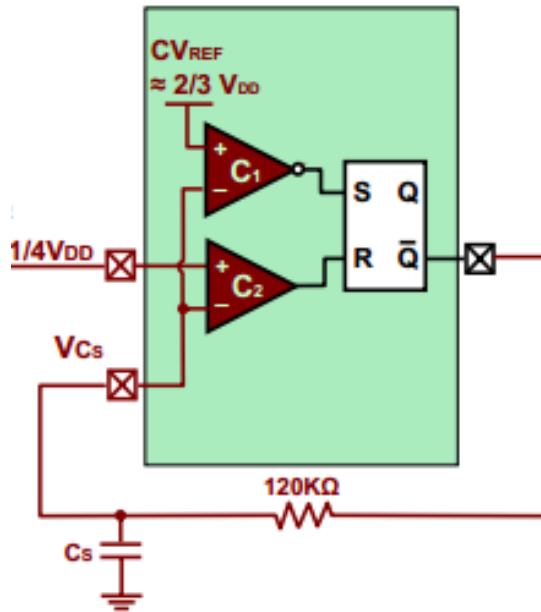


Figura 5-9.- Circuito para generar el tren de pulsos del sensor.

De acuerdo a la tabla de verdad del Latch SR **Figura 5-10** obtenemos la secuencia para la carga del capacitor C_s .

S	R	Q	\bar{Q}	OPERATION
0	0	Outputs hold last known values (HOLD)		
0	1	0	1	RESET
1	0	1	0	SET
1	1	0	1	RESET

Figura 5-10.- Tabla de verdad del flip flop RS.

Una vez que C_s sobrepasa el valor de $1/4$ de V_{DD} éste continuará cargándose hasta llegar a $2/3$ partes de V_{DD} , en ese momento la salida \bar{Q} se pone en cero y el capacitor comienza a descargarse hasta que nuevamente llega al valor de $1/4$ de V_{DD} .

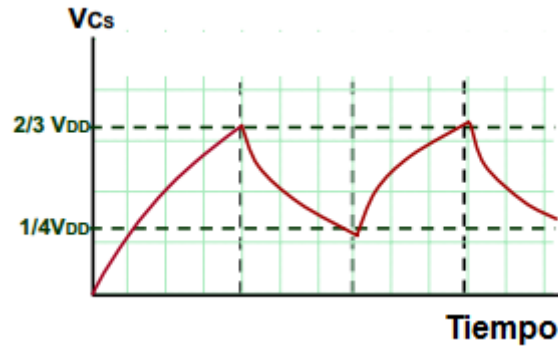


Figura 5-11.- Gráfica del voltaje en el capacitor.

La gráfica de la **Figura 5-11** muestra el voltaje en el capacitor C_s mientras que en la salida !Q como es un valor lógico, su gráfica está dada por la **Figura 5-12**.

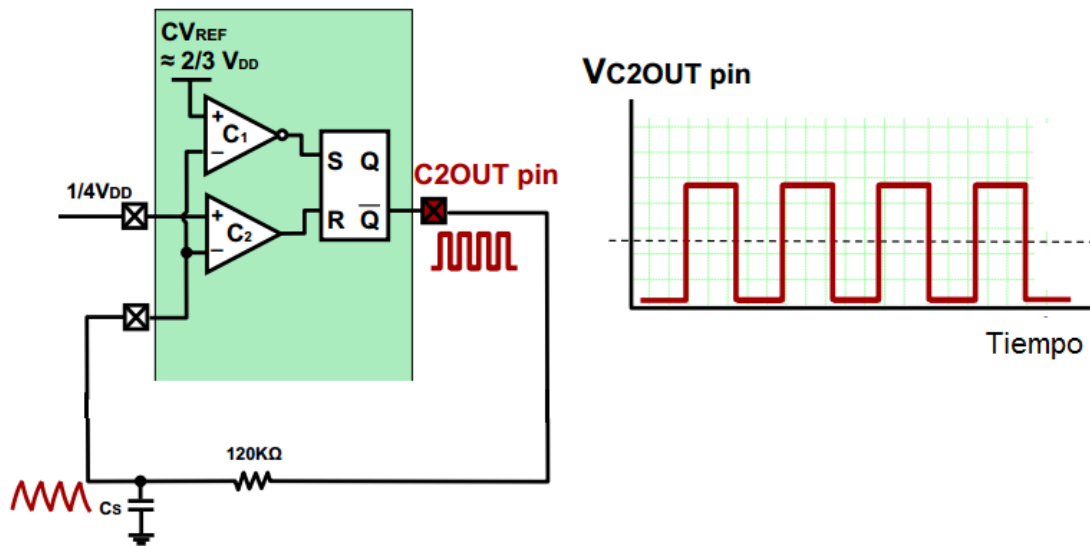


Figura 5-12.- Gráfica del tren de pulsos que se envía al sensor.

Considerando que la salida C2OUT es una señal cuadrada, se puede medir la frecuencia de ésta utilizando dos timers, uno para dar un periodo de muestreo determinado (TMR0) y el otro para contar el número de pulsos en ese periodo (TMR1) [16].

Al tener un periodo de muestreo fijo se puede determinar el número de pulsos que se tendrá del sensor en estado de relajación (sin el dedo en la placa) y cuando el sensor sea presionado, el número de pulsos en ese periodo disminuirá y de esta manera se obtiene un valor conocido de los pulsos los cuales nos darán la información cuando el sensor es presionado o no **Figura 5-13**.

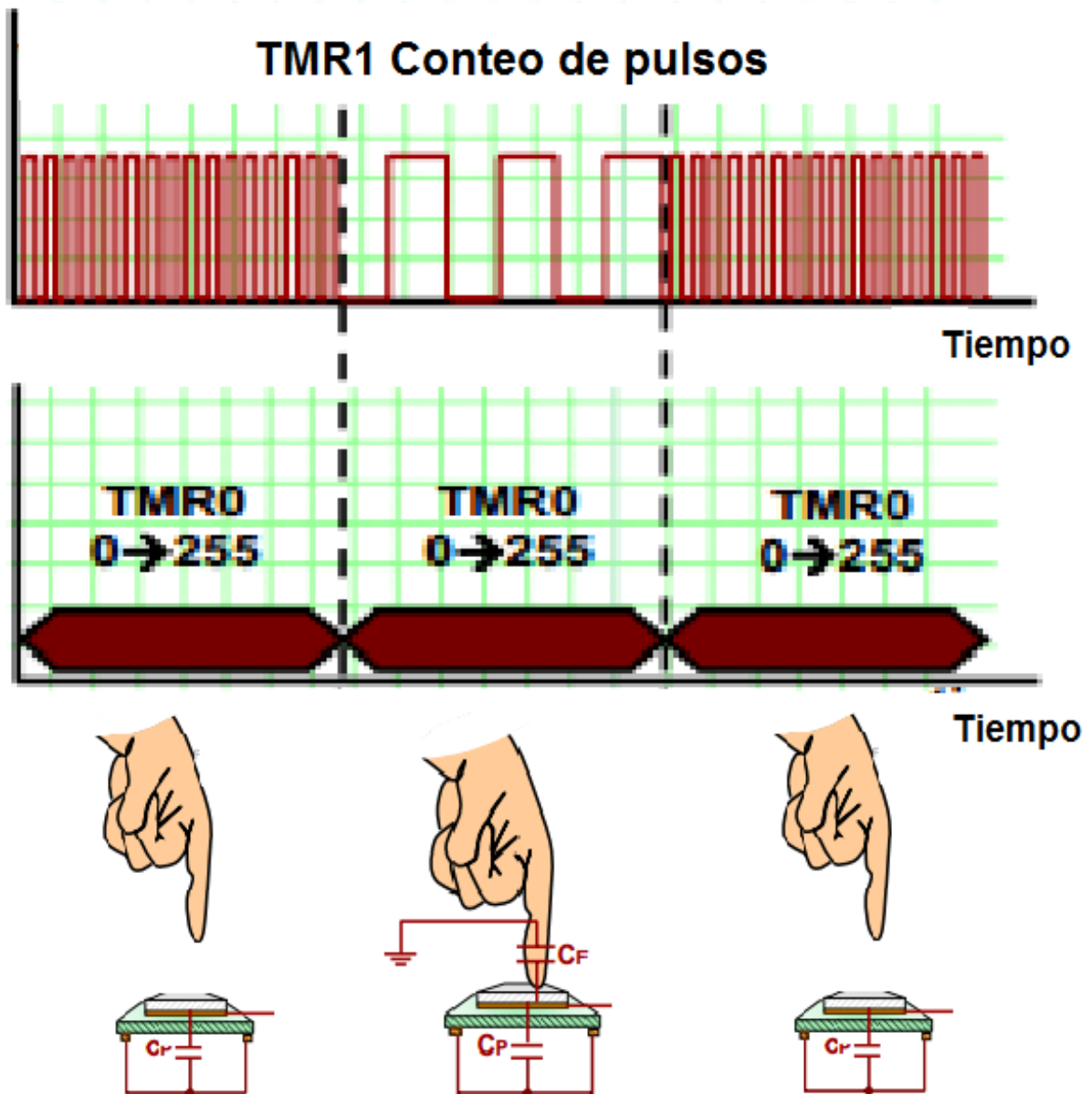


Figura 5-13.- Gráfica de la frecuencia del sensor, en estado libre y al ser activado.

Esta técnica fue implementada en la interfaz del mando, como se explica en el capítulo 6.1.

5.2. *Tecnologías inalámbricas*

Para el proyecto del VEPI, se propuso que el vehículo fuera capaz de conducirse vía remota, para lo cual fue necesario implementar una comunicación utilizando tecnologías inalámbricas.

Se denominan tecnologías inalámbricas a aquellas con las cuales se puede realizar una comunicación a distancia, donde el emisor y el receptor no están unidos por cables [17].

Actualmente se ha despertado el interés en el uso de esta comunicación, ya que da flexibilidad de transmitir datos a través de diferentes puertos y así poder conectar varios dispositivos. Además de que brindan mayor comodidad al usuario, al no ser necesario el uso de varios cables en la instalación, permitiendo así una mayor movilidad a dichos sistemas.

Algunos ejemplos de dispositivos que emplean las tecnologías inalámbricas son: computadoras portátiles, teléfonos móviles, reproductores multimedia, cámaras e impresoras entre otros.

Dependiendo la aplicación requerida existen varios protocolos o tipos de comunicación para enviar datos inalámbricamente, por ejemplo Wifi, *Bluetooth*, *Transceiver*, Zigbee, entre otras.

Los dispositivos más comunes y accesibles para la comunicación inalámbrica, son los módulos de radiofrecuencia y *Bluetooth*

El transceiver es un dispositivo que puede enviar y recibir señales de radio frecuencia. Los dispositivos más comunes que contienen transceivers son los radios, walkie – talkies y teléfonos inalámbricos.

Bluetooth es una tecnología de especificación abierta para comunicaciones inalámbricas con la que se pueden transmitir voz y datos, y por lo tanto aplicaciones multimedia.

Se basa en el enlace de radio de bajo costo, corto alcance, sistema global estándar, bajo consumo de energía, proporciona conexiones instantáneas tanto para entornos de comunicaciones móviles como estáticos, ofrece la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilita la sincronización de datos entre equipos personales [19].

El núcleo de un sistema de tecnología Bluetooth lo conforman un transmisor y un receptor de radiofrecuencia.

A diferencia de los módulos de radiofrecuencia comunes, Bluetooth funciona en la banda de frecuencia abierta a cualquier sistema de radio en todo el mundo, esta banda es la ISM (médico – científica internacional) la cual no necesita licencia y que va de los rangos de 2.4 a los 2.5 GHz.

6. *Desarrollo de un prototipo funcional*

En este capítulo se describe la implementación del prototipo funcional del mando del VEPI, siendo éste una interfaz táctil.

Se explica el proceso de diseño del mando, desde el desarrollo de la comunicación inalámbrica, el diseño del software, los diagramas para la programación del sensor y las pruebas para comprobar el funcionamiento del mismo.

6.1. *Desarrollo de la interfaz táctil*

En este capítulo se describe la interfaz táctil y los pasos para el diseño de la misma.

Como se vio en el capítulo 5.1, una de las ventajas de un panel táctil es la libertad de diseño de la misma, es decir, se puede realizar la interfaz con la forma deseada, **Figura 6-1** ya que no hay limitaciones en la forma de los botones.



Figura 6-1.- Pruebas de diferentes propuestas para la interfaz táctil.

Los botones del panel táctil son dibujos en una placa de cobre, los cuales sirven para generar el sensor capacitivo con el cual interactúa el usuario.

Para que el diseño del sensor táctil sea efectivo se debe considerar que el tamaño de los pads sea suficiente para que el dedo sea sentido correctamente, como se muestra en el capítulo 5.1.1

6.1.1. Sensor capacitivo.

Se diseñó un panel táctil **Figura 6-2** para manejar el vehículo, y así evitar realizar grandes esfuerzos físicos.



Figura 6-2.- Render de la propuesta del mando.

Para esto se propuso dos sliders uno vertical para controlar la velocidad de avance y retroceso y otro para controlar los giros **Figura 6-2**.

Los paneles táctiles funcionan a base de sensores capacitivos, los cuales se calibraron de tal manera que fueran activados con la presencia de un dedo **Figura 6-3**. Y así evitar que se activen indeseadamente con la presencia de cualquier otro material **Figura 6-4**.

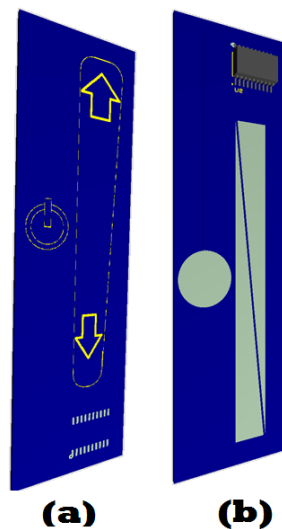


Figura 6-3.- Circuito del panel táctil, (a) Vista frontal (b) Vista trasera.

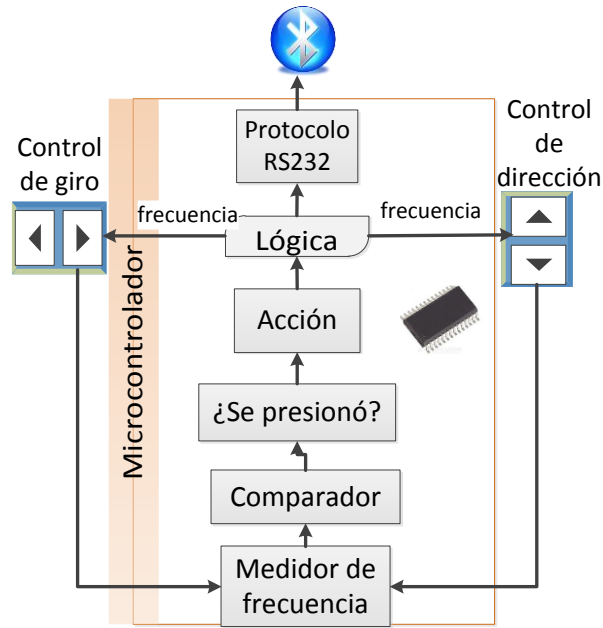


Figura 6-4.- Diagrama del funcionamiento de los sensores táctiles.

6.1.2. Comparación entre el módulo de Bluetooth y el Transceiver (RFM12)

En esta sección se muestran las características de los módulos Bluetooth (RN y el *Transceiver* (RFM12), así como los resultados obtenidos y la comparación **Figura 6-5** al realizar una comunicación inalámbrica de cada uno de éstos

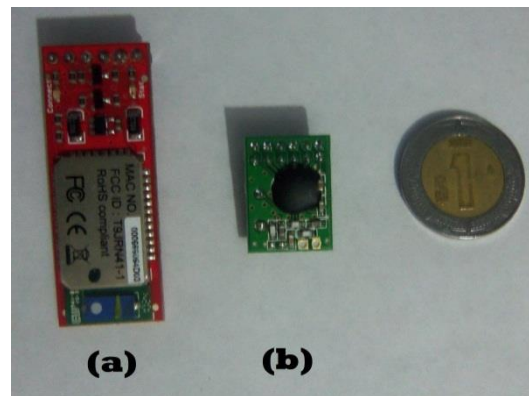


Figura 6-5. - Módulos inalámbricos usados.

• **Transceiver (RFM12).**

El módulo de transceiver seleccionado fue el RFM12 debido a su bajo costo y accesibilidad de compra **Figura 6-6**.



Figura 6-6.- Módulo RFM12.

Las principales características del módulo de acuerdo a su hoja de especificación [18] son:

- Frecuencia programable entre 315 y 915 MHz.
- Comunicación mediante el protocolo SPI.
- Registro de recepción de datos de 16 bits.
- Modo de bajo consumo.
- Voltaje de alimentación entre 2.2 - 5.4V.
- Se puede sintonizar durante el uso.

La desventaja que presentó este módulo es que para realizar el envío y recepción de datos se necesitan 2 módulos iguales, donde uno iría dentro del vehículo y el otro sería para el control remoto **Figura 6-7**.

Esto solo permitió el uso de un control remoto único para mover el vehículo, ya que si se quiere controlar el vehículo desde una computadora sería necesario realizar un circuito que lea desde el rfm12 y lo convierta a rs232, USB u otro formato de datos compatible para la PC.

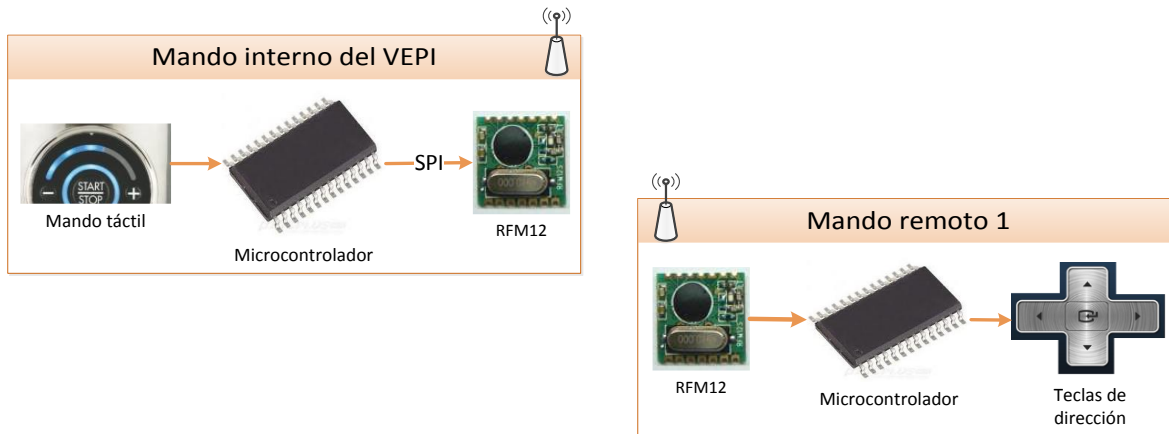


Figura 6-7.- Diagrama de comunicación entre el mando y el vehículo usando el módulo RFM12.

• Bluetooth

El componente seleccionado para este proyecto fue el modelo *Bluesmirf* de la empresa *Sparkfun* **Figura 6-8**, cuyas principales características de acuerdo a su hoja de especificación [20] son:

- Soporta Bluetooth v2.0+EDR.
- Frecuencia de 2.402 ~ 2.48 GHz.
- Comunicación hacia otro dispositivo vía RS232 con velocidad de transmisión configurable
- Voltaje de alimentación 3.3 – 6V.
- Puede trabajar como maestro o como esclavo



Figura 6-8.- Módulo de Bluetooth.

El usar la tecnología *Bluetooth* permitió que el mando tenga una gama de posibilidades mayor, como se puede ver en la **Figura 6-9** teniendo una mayor accesibilidad en el diseño del mando.

El mando puede ser de diseño propio, usando otro modulo Bluetooth y diseñando el hardware de manera libre. O puede usarse el bluetooth que traen incorporados diferentes dispositivos como computadoras, teléfonos o *tablets*, realizando un *software* para cada uno de estos e integrar el mando del vehículo a estos dispositivos.

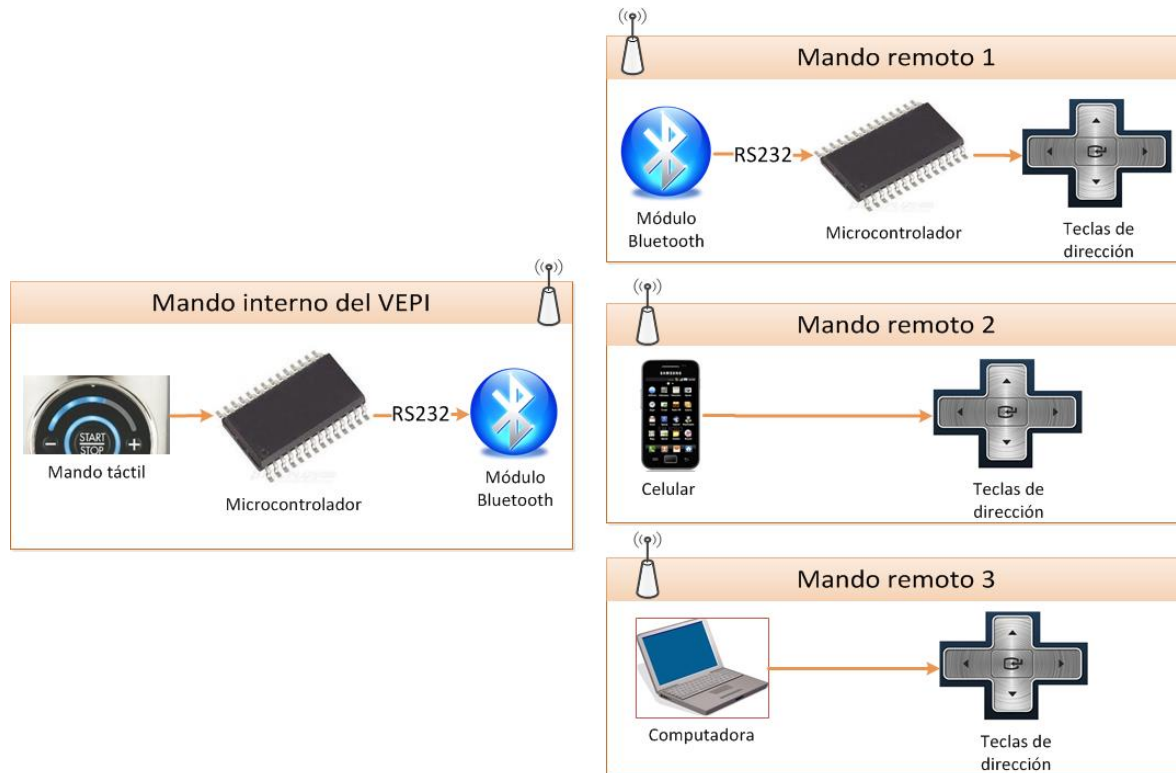


Figura 6-9.- Diagrama de comunicación entre el mando y el vehículo usando el módulo de Bluetooth.

La comunicación inalámbrica se realizó exitosamente con ambos módulos, los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 6-1**.

	RN41	RFM12
Distancia[m].	110 m	130 m
Velocidad de transmisión [bps].	115 200	115 200
# Conexiones (cableado).	2	5
Protocolo de comunicación	RS232	SPI
Voltaje de alimentación	De 3 a 5 V	De 3 a 5 V

Tabla 6-1.- Resultados obtenidos de las pruebas con ambos módulos.

Se decidió usar el módulo de bluetooth (RN41) ya que tiene las siguientes ventajas:

- Cumple con un sistema estándar de comunicación mundial.

- Es inmune a interferencias.
- Se puede comunicar directamente con una computadora o un teléfono, **Figura 6-9**.
- Permite libre diseño de interfaz.

6.1.3. Configuración del módulo Bluesmirf

El módulo *Bluesmirf* puede trabajar de diferentes modalidades y a diferentes velocidades de transmisión, para esto se envían una serie de comandos llamados AT.

Los comandos AT se denominan así por la abreviatura de *attention*. Son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un dispositivo. Por lo que el objetivo de estos comandos, es hacer que el programa de comunicaciones pueda “hablar” con el dispositivo, por lo que es necesario ajustarles al microcontrolador (de los dispositivos), algunos parámetros para un mejor funcionamiento y para una determinada aplicación.

Estos comandos me permitieron configurar parámetros del *Bluetooth*, como el nombre del dispositivo, la velocidad de transmisión, el código de seguridad, etc.

A continuación en la **Tabla 6-2** se describen los comandos utilizados para configurar el dispositivo con los requerimientos necesarios para este proyecto [21].

COMANDOS	DESCRIPCIÓN
\$\$\$	Comenzar modo de configuración del Bluetooth.
D	Muestra las configuraciones básicas como: dirección, nombre, código pin, dirección remota, etc.
E	Muestra otras configuraciones como: configuración del <i>Timer</i> , nombre del servicio, clase del dispositivo, etc.
SM,<3,1,0>	Modo (0=esclavo, 1=maestro, 3=automático).
SU,<rate>	Velocidad de transmisión, solo los 2 primeros caracteres.
SN,<name>	Nombre del dispositivo, máximo 20 caracteres.
---	Salir del modo configuración.

Tabla 6-2.-Comandos AT para Bluetooth.

6.1.4.Programación del sensor

El programa para realizar el sensado táctil se encuentra embebido en un microcontrolador PIC16F1828 de la empresa microchip, para esto se utilizaron las siguientes características de este microcontrolador:

- Convertidor ADC.
- Protocolo serial RS232.
- Velocidad máxima de 8 megas instrucciones por segundo [MIPs].
- Timers de 8 y de 16 bits.
- Módulo capacitivo.

Este microcontrolador se seleccionó debido a que ya se tenía experiencia con esta familia de microcontroladores, porque tiene timers dedicados al módulo capacitivo y este modelo tiene una gran velocidad de trabajo dentro de los microcontroladores de 8 bits lo que permitió tener un tiempo de muestreo adecuado.

El programa principal **Figura 6-10** configura los módulos del microcontrolador de la siguiente manera:

- Convertidor analógico-digital (ADC) con resolución de 10 bits.
- RS232 a 115200 bps.
- Reloj interno de 8 MHz con un pll de 4x dando 32 MHz.
- Se asignan el *timer 0* y *timer 1* al módulo capacitivo.

Para realizar las pruebas y la calibración, se agregó al código la impresión del valor registrado de cada uno de los sensores a la computadora y poder realizar la gráfica de éstos en tiempo real.

Cada que se cumple el tiempo de muestreo, dado por la interrupción del timer1, se mandan a llamar a las funciones necesarias para corroborar el estatus de cada sensor y realizar la acción indicada.

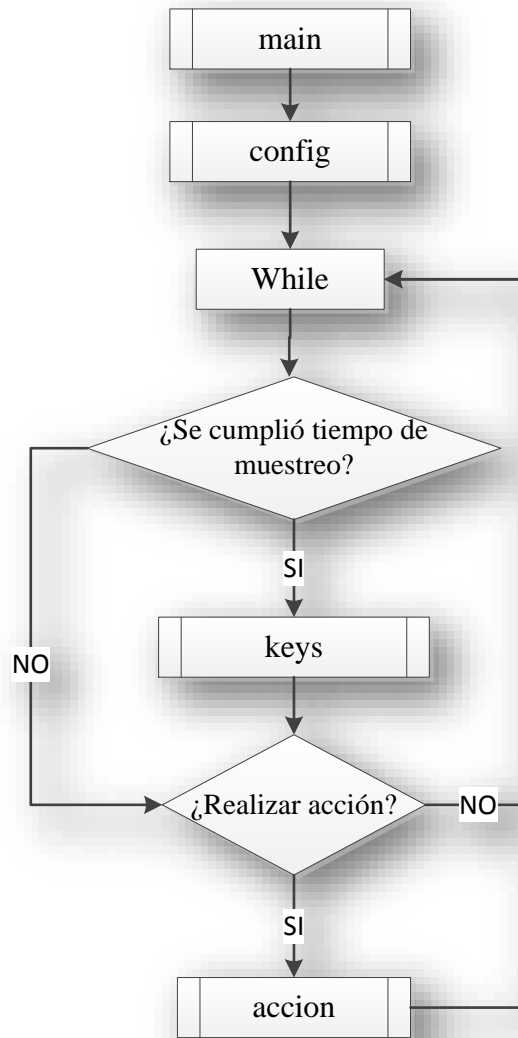


Figura 6-10.- Diagrama de la función principal del programa.

KEYS **Figura 6-11.**- Esta función tiene dos objetivos:

- Realizar una auto-calibración en cuanto se energiza el circuito, guardando los valores del sensor en estado de reposo para tenerlos como referencia.
- Lee los sensores constantemente y realiza la comparación con el valor de referencia para discriminar si una tecla fue presionada o no. Si la tecla fue presionada da la instrucción para que se realice la acción correspondiente a la tecla.

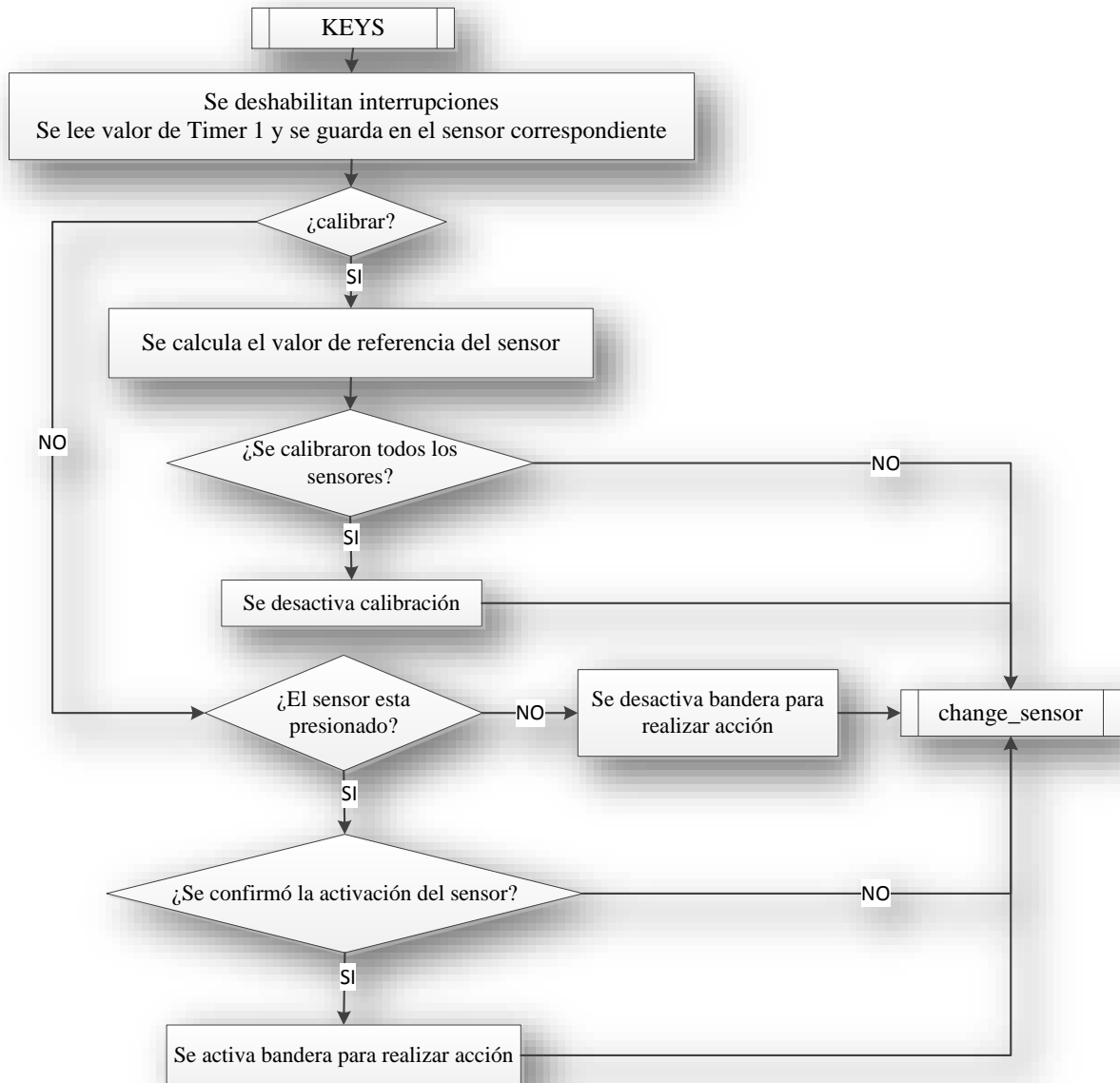


Figura 6-11.- Función para checar si alguna tecla esta presionada.

Change_sensor **Figura 6-12.-** Esta parte del código le asigna al módulo capacitivo el siguiente sensor a *escanear* e imprime el valor cuando los cuatro sensores ya fueron leídos.

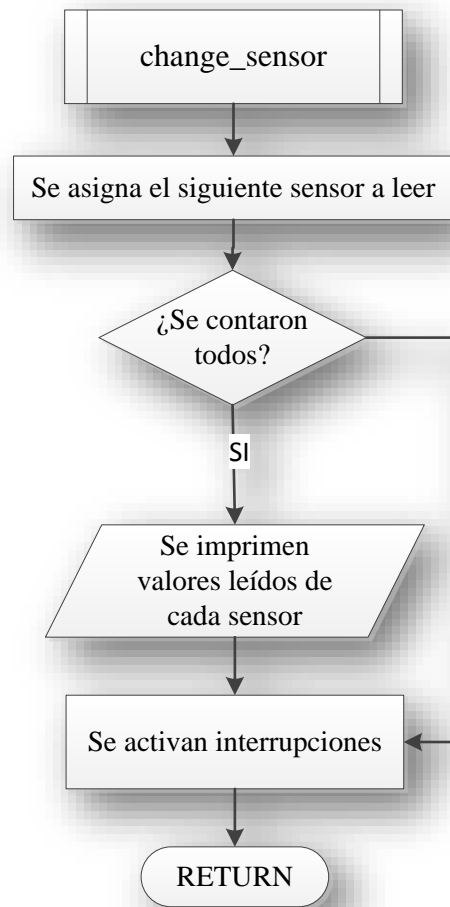


Figura 6-12.- Función para leer los sensores.

Interrupción Timer 1 **Figura 6-13.-** Esta función indica que se cumplió el tiempo de muestreo.

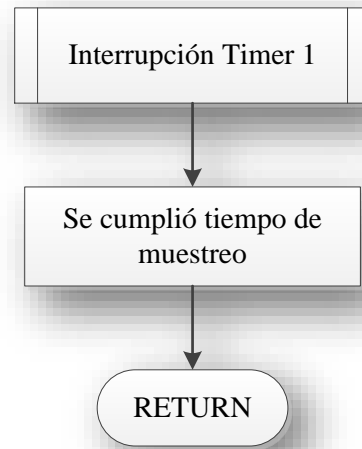


Figura 6-13.-Interrupción del Timer 1.

Accion **Figura 6-14.-** Esta función envía los comandos correspondientes para realizar que corresponde al botón presionado.

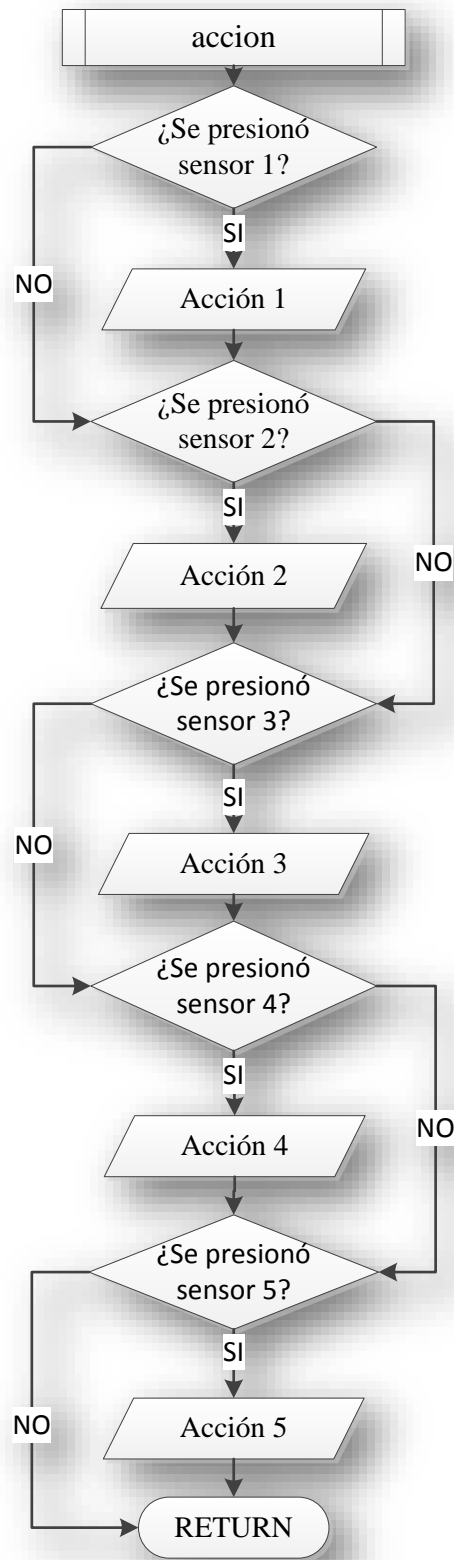


Figura 6-14.- Función para realizar la acción correspondiente al sensor presionado.

6.1.5. Diseño de la interfaz touch

Para la implementación del touchpad, se propuso que la forma de este no fuera totalmente rígida, para tener una mejor opción de diseño.

Para esto, el circuito se dividió en 2 partes. La primera contiene el diseño del circuito y los componentes electrónicos para realizar el control del mando y la segunda parte contiene el diseño del touchpad.

El circuito de control contiene al microcontrolador, al módulo bluetooth, un regulador de voltaje y las conexiones para el touchpad como se muestra en la **Figura 6-15**.

El diseño del circuito de control fue realizado en el software Proteus, para posteriormente realizar el diseño de la PCB en el software de diseño Ares como se puede ver en la **Figura 6-16** y **Figura 6-17**.

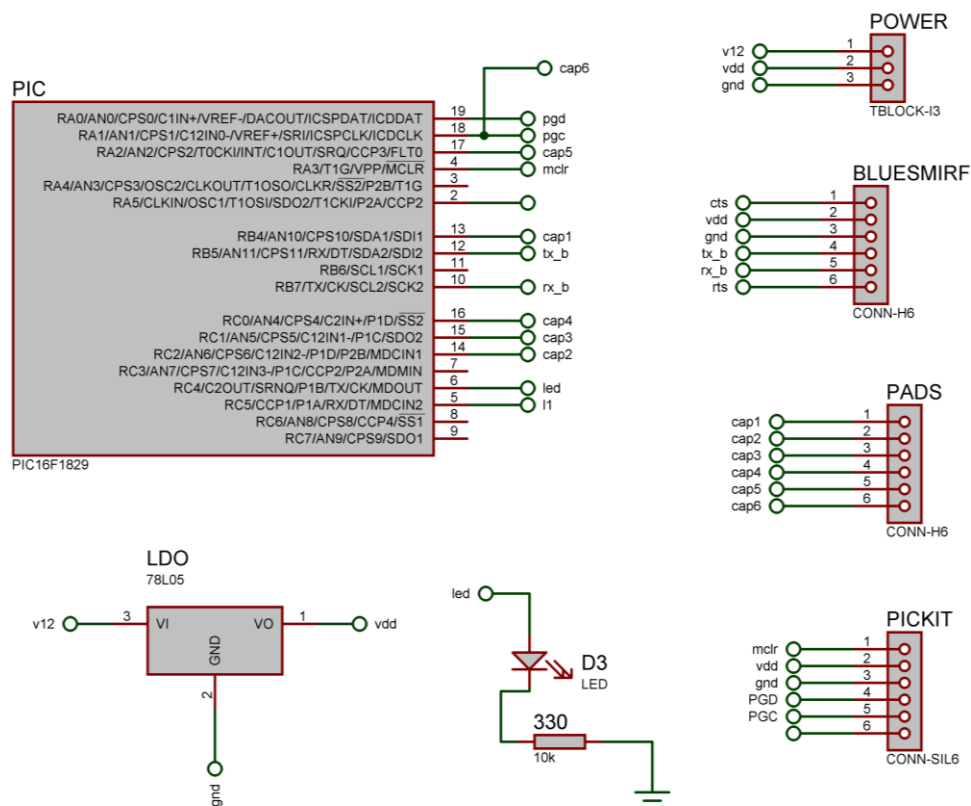


Figura 6-15.- Diagrama de conexiones del circuito para el control de sensado.

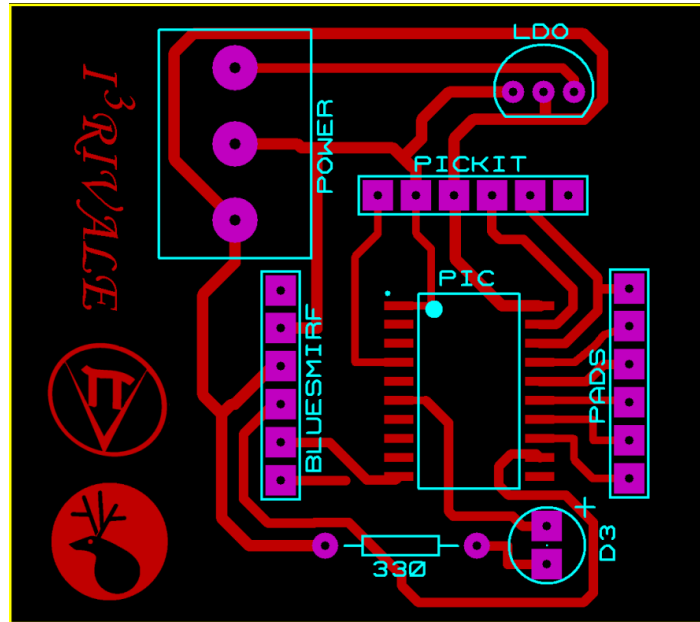


Figura 6-16.- Diseño del circuito impreso del control de sensado.

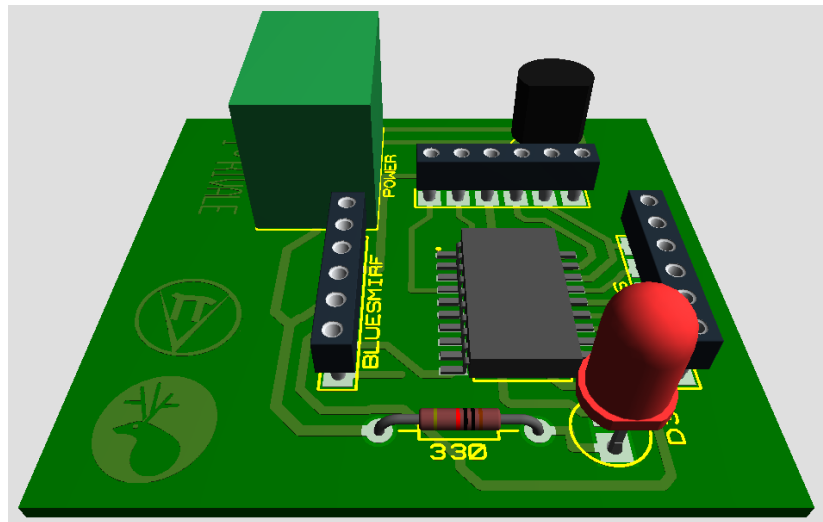


Figura 6-17.- Vista 3D del circuito de control de sensado.

El diseño del touchpad fue realizado en Proteus como se puede ver en la **Figura 6-18** y en Ares como se muestra en la **Figura 6-19** y **Figura 6-20**. Finalmente el circuito fue impreso en una placa de cobre flexible, para que ésta pudiera ser adecuada al mando tubular propuesto. Cabe mencionar que la placa de cobre va protegida por acrílico, para que el circuito no quede expuesto al ambiente. **Figura 6-21** y **Figura 6-22**.

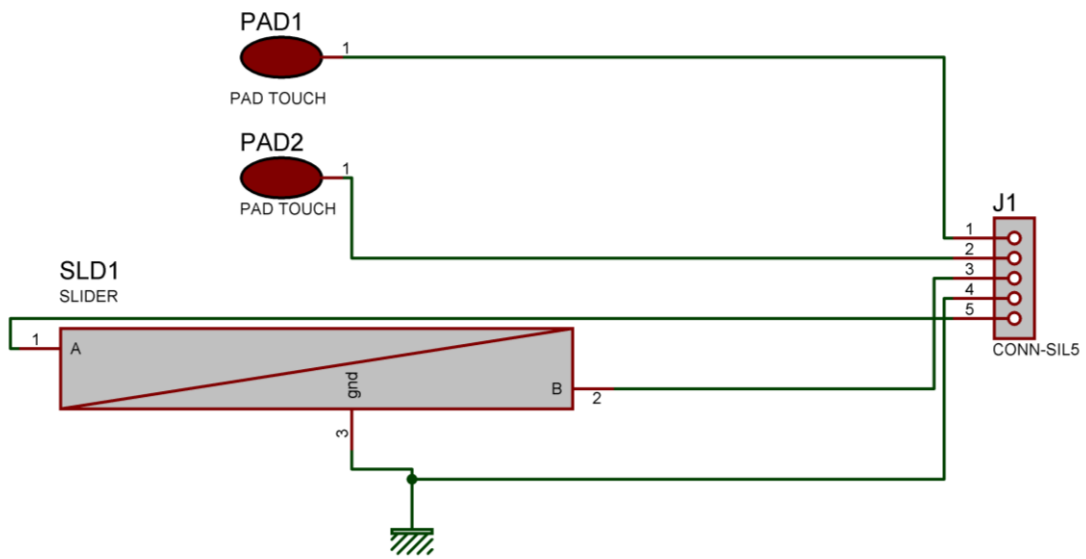


Figura 6-18.- Diagrama del circuito de los pads.

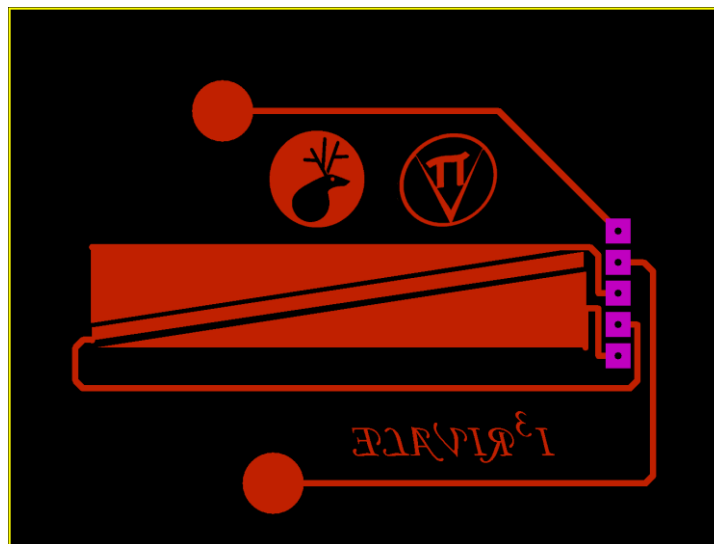


Figura 6-19.- Diseño de los pads para el circuito impreso.

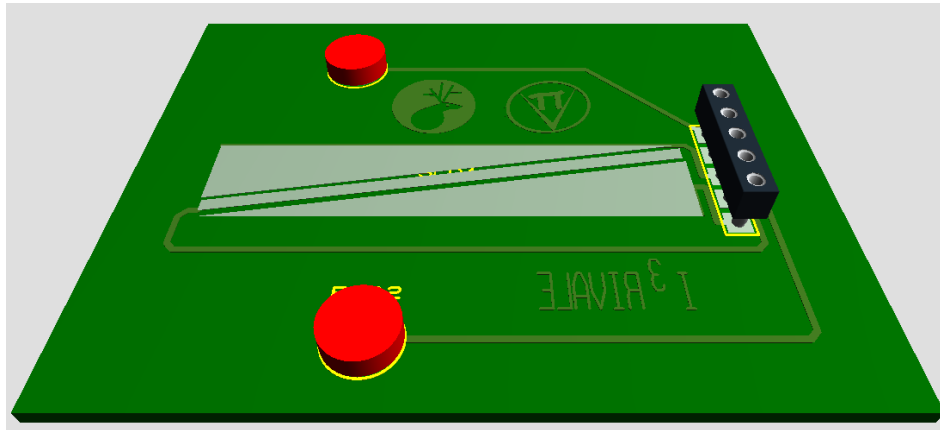


Figura 6-20.- Vista 3D de los pads.

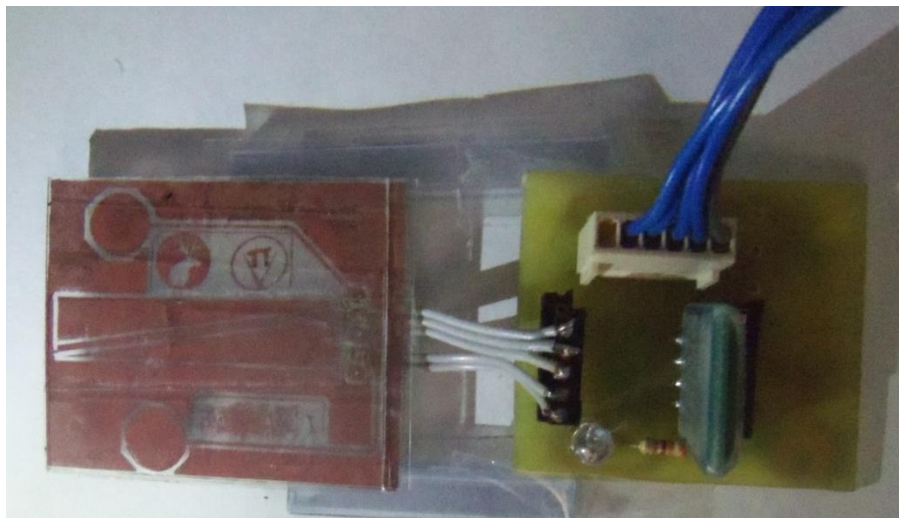


Figura 6-21.- Implementación del circuito del sensor.

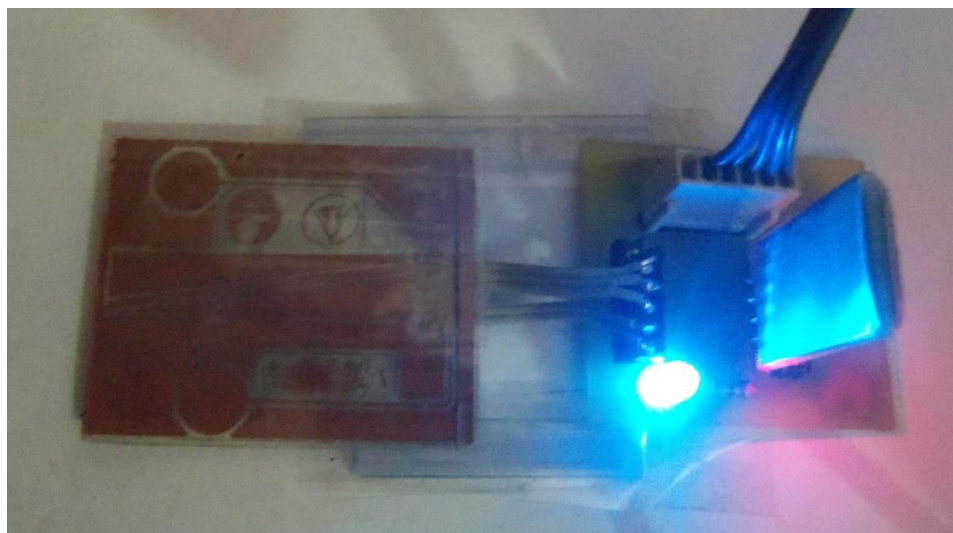


Figura 6-22.- Primera prueba del circuito del sensor.

6.1.6. Software para la calibración del sensor

Para la implementación de los sensores capacitivos se utilizó un microcontrolador que genera la frecuencia patrón. Las cuales son detectadas con un programa que realicé en C#, con el fin de hacer pruebas de sensibilidad y calibración del sensor, viendo como variaban y poder calibrar el sensor **Figura 6-23**.

El microcontrolador se encarga de medir la frecuencia de cada tecla; ésta la compara con la frecuencia en reposo de la tecla y determina si el botón fue presionado con el dedo o no, para así enviar el comando, correspondiente a la acción, hacia el microcontrolador maestro del VEPI.

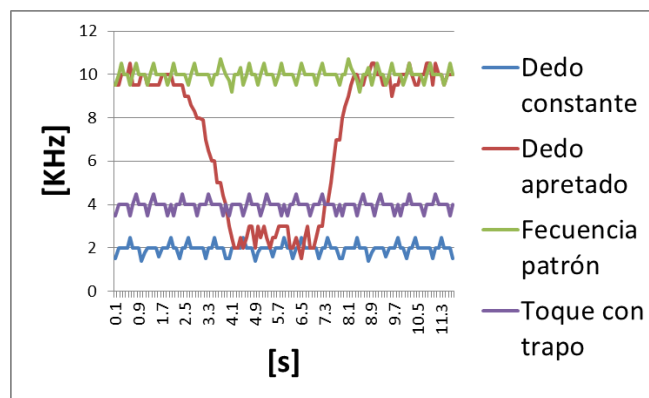


Figura 6-23.- Gráficas experimentales de la variación de frecuencia con respecto a la presencia de diferentes objetos.

En la **Figura 6-24** se muestra la interfaz del software que se programó para registrar el valor de los sensores en tiempo real y poder realizar la calibración del mismo.

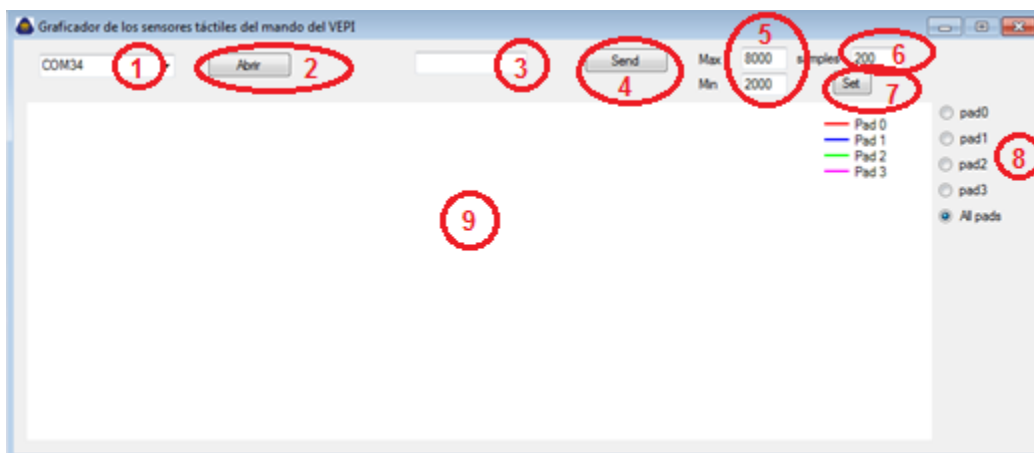


Figura 6-24.- Captura de pantalla del software para sensores táctiles.

En la **Tabla 6-3** se explican los diferentes objetos que integran la interfaz antes mencionada.

	DESCRIPCIÓN
1	Menú que muestra los diferentes puertos COM de la PC.
2	Botón que abre y cierra el puerto COM.
3	Cuadro para enviar comandos directamente por Bluetooth.
4	Botón que envía el comando escrito en el objeto 3 al módulo de Bluetooth.
5	Cuadros de texto para editar los límites del área de la gráfica.
6	Cuadro de texto para editar el número de muestras en la gráfica.
7	Botón que actualiza los datos modificados en los cuadros de texto.
8	Botones para seleccionar el sensor que se desea graficar.
9	Área de graficación.

Tabla 6-3.- Descripción de objetos del software para sensores táctiles.

El software permitió monitorear los cuatro sensores simultáneamente, graficando los valores de los sensores en su estado de reposo y al ser activados con el dedo **Figura 6-25**.

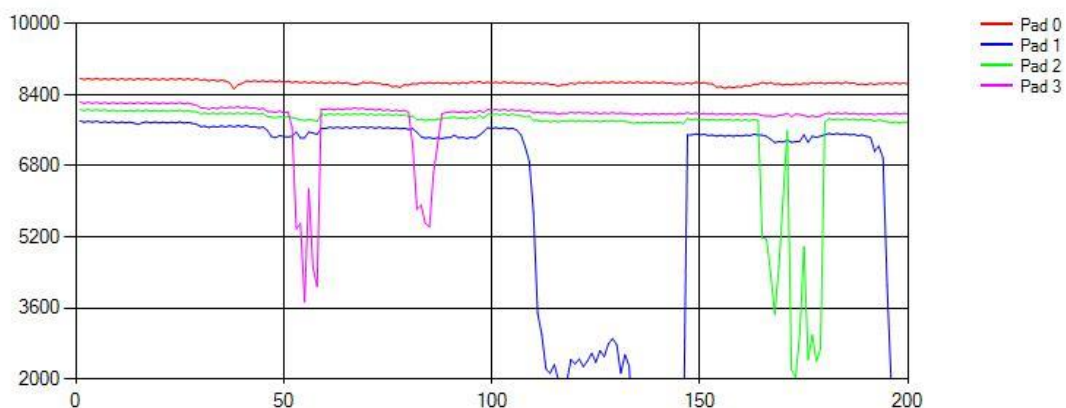


Figura 6-25.- Impresión de pantalla del software con todos los sensores activados.

6.2. *Software para mando*

En esta sección se presenta el *software* de computadora realizado para el manejo del vehículo.

Una vez que se definió el módulo a utilizar para realizar la comunicación inalámbrica, se desarrolló la aplicación que usó el *Bluetooth* de la computadora para enviar los datos al VEPI y se pudiera manejar vía remota.

6.2.1. Uso del Bluetooth de la PC.

El *Bluetooth* de la computadora fue utilizado como un puerto COM, es decir, los datos fueron enviados desde el programa de control a través del protocolo RS232.

A continuación en la *Figura 6-26*, *Figura 6-27*, *Figura 6-28*, *Figura 6-29* y *Figura 6-30* se muestran las instrucciones para agregar el dispositivo *Bluetooth* a la computadora y saber a qué puerto COM está asignado.

Para agregar el módulo de *Bluetooth* seleccioné la dirección de la PC:

Panel de Control – *Hardware* y Sonido – Dispositivos e impresoras – Dispositivos *Bluetooth*.

Posteriormente seleccioné el módulo de *Bluetooth* denominado Vepi1 y abrí las propiedades del mismo *Figura 6-26*.

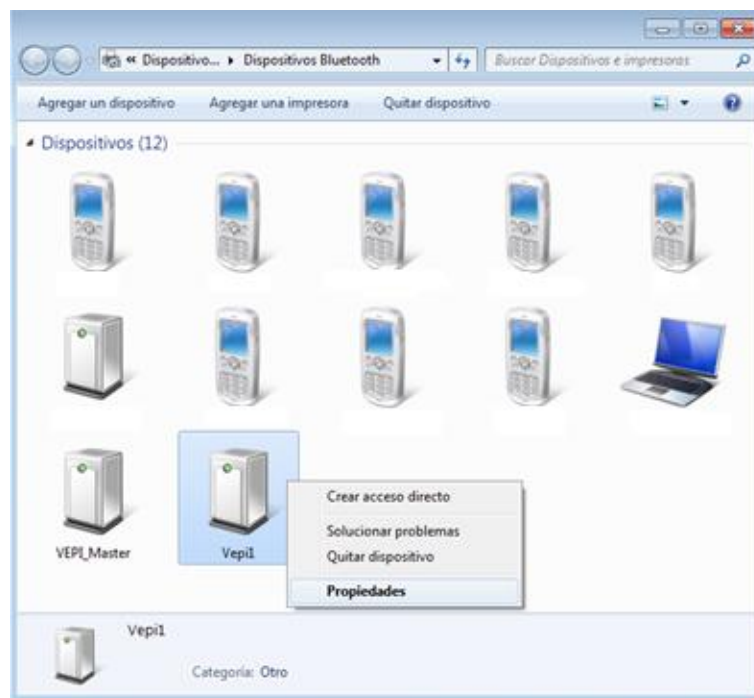


Figura 6-26.- Selección del módulo de Bluetooth.

Para configurar la velocidad del dispositivo de *Bluetooth* se abrieron las propiedades del puerto COM asociado *Figura 6-27*.

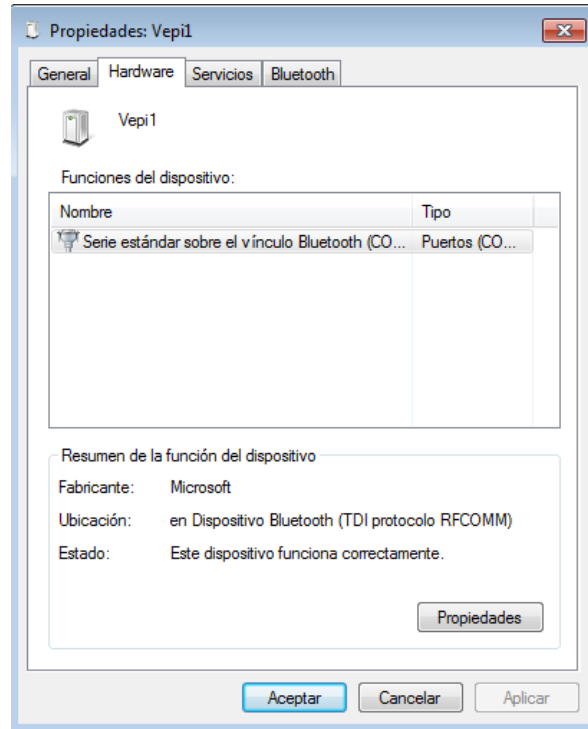


Figura 6-27.- Propiedades del Hardware del Bluetooth.

Dentro de la configuración del puerto seleccioné la velocidad de 115200 bits por segundo que es la máxima que permite el módulo de *Bluetooth* *Figura 6-28* y *Figura 6-29*.

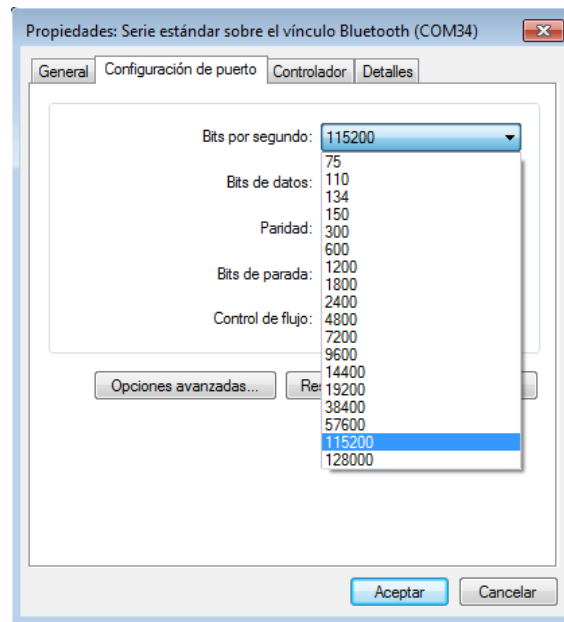


Figura 6-28.- Configuración de la velocidad de transmisión.

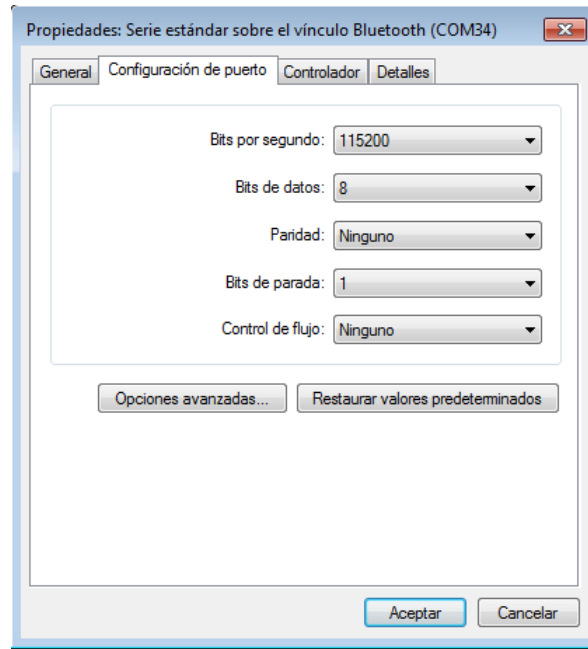


Figura 6-29.- Configuración del puerto Bluetooth.

En la pestaña de controlador verifiqué el número del puerto COM del módulo de *Bluetooth* *Figura 6-30.*

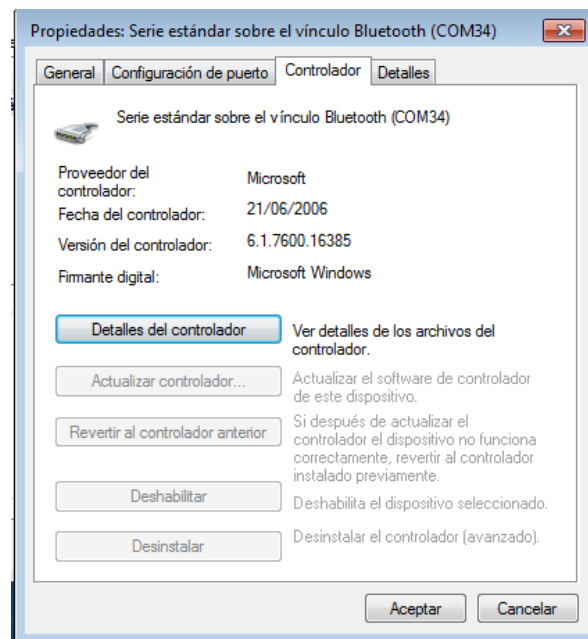


Figura 6-30.- Detalles del puerto COM del Bluetooth.

6.2.2. Interfaz del mando.

Para tener el mando remoto de la computadora, programé una interfaz con la cual se le pueden dar instrucciones para controlar el vehículo. El software fue programado en el lenguaje de programación C#.

El software tiene la ventaja de que utiliza el bluetooth de una computadora para conectarse con el vehículo y así enviar los comandos necesarios para mover el vehículo **Figura 6-31**.

El software, realizado en el lenguaje C#, permite enviar los comandos de dirección hacia el VEPI de manera inalámbrica.

En la **Figura 6-32**, **Figura 6-33**, **Figura 6-34**, **Figura 6-35** y **Figura 6-36** se muestran las se presentan capturas de pantalla del software realizado.



Figura 6-31.- Pantalla de inicio de la interfaz del software de control del VEPI.

En la **Tabla 6-4.-** se describen los objetos que componen la interfaz del mando.

	DESCRIPCIÓN
1	Menú que muestra los diferentes puertos COM de la PC.
2	Botón que abre y cierra el puerto COM.
3	Botones de navegación del vehículo.
4	Controlador de velocidad del vehículo, siendo el extremo derecho la máxima velocidad.
5	Ventana que muestra los datos recibidos del vehículo.

Tabla 6-4.- Descripción de los objetos de la interfaz del mando.

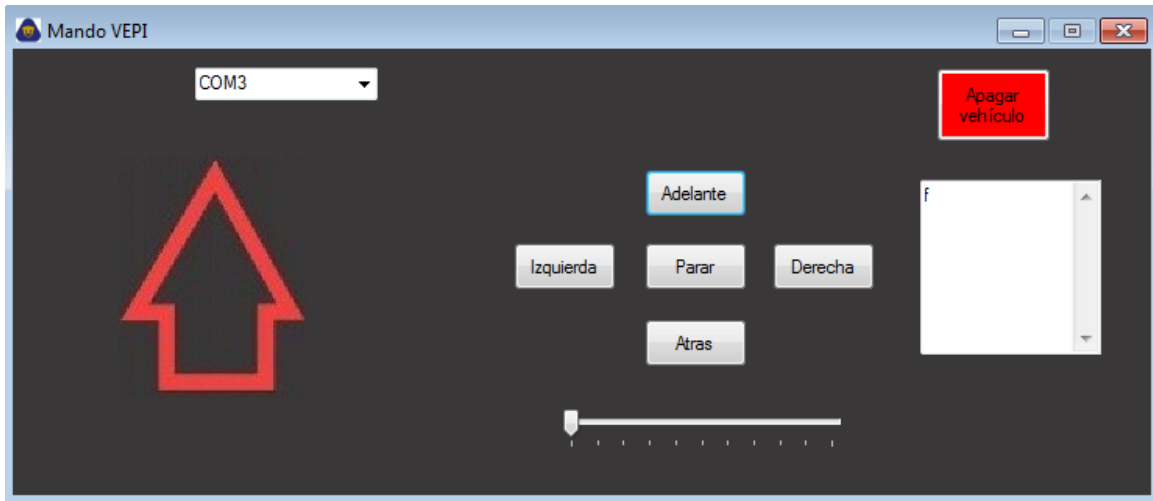


Figura 6-32.- Pantalla con movimiento hacia adelante del software de control del VEPI.



Figura 6-33.- Pantalla con movimiento hacia atrás del software de control del VEPI.

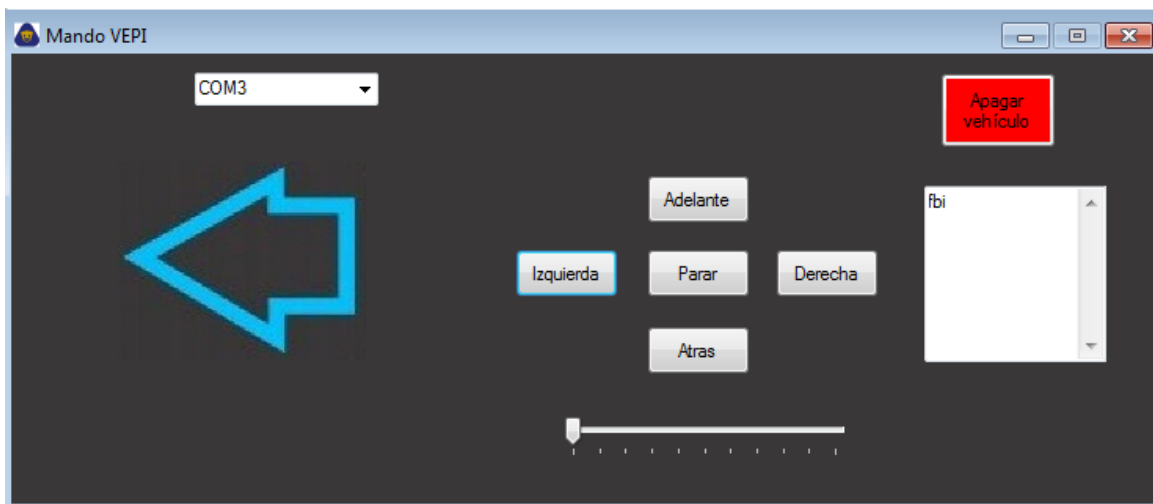


Figura 6-34.- Pantalla con movimiento a la izquierda del software de control del VEPI.

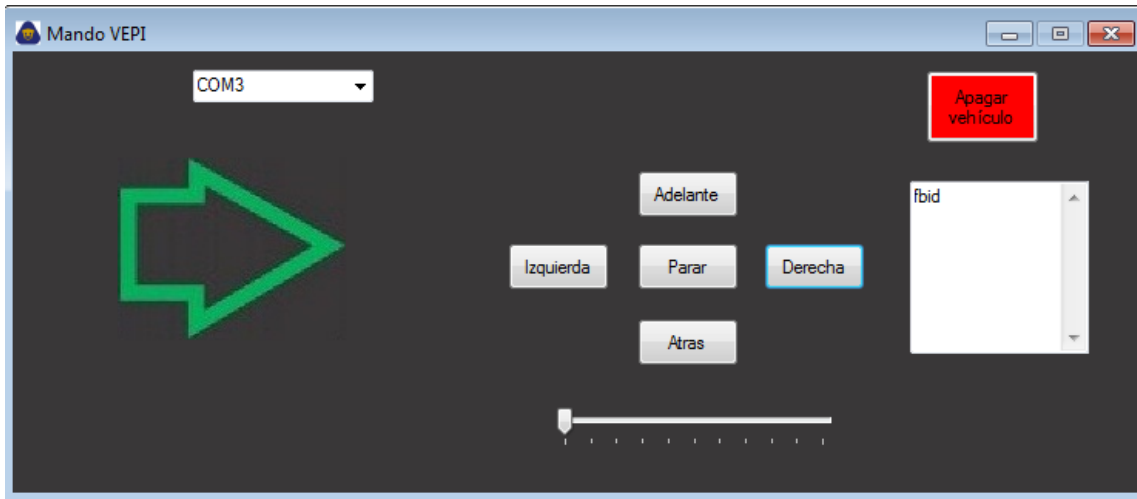


Figura 6-35.- Pantalla con movimiento a la derecha del software de control del VEPI.



Figura 6-36.- Pantalla inactiva de la interfaz del software de control del VEPI.

7. Pruebas y resultados.

En este capítulo se muestran las pruebas realizadas para la implementación del mando, la calibración de los *pads* del sensor capacitivo así como los resultados del control inalámbrico conectado al control del VEPI.

7.1. Calibración del panel táctil

Para obtener los valores de cada sensor al ser presionado por el usuario se utilizó el software descrito en el capítulo 6.1.6, el software genera las gráficas de los valores leídos de cada sensor.

El eje Y muestra el número de oscilaciones del sensor y el eje X muestra el número de muestras realizadas, en la **Figura 7-1** se muestra el valor de los 4 sensores en su estado de reposo, es decir, cuando ninguno se encuentra presionado

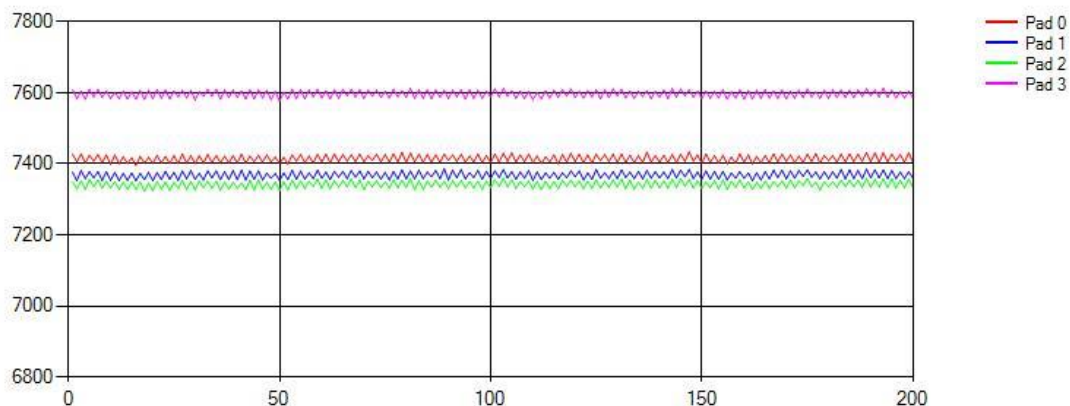


Figura 7-1.-Gráfica de los sensores en estado de reposo, donde el eje “Y” muestra el número de oscilaciones del sensor y en el eje “X” el número de muestras.

Para realizar la calibración de cada sensor se fueron presionando uno a uno y se obtuvo el valor de cada sensor al ser presionados con el dedo a través de un acrílico de 3mm.

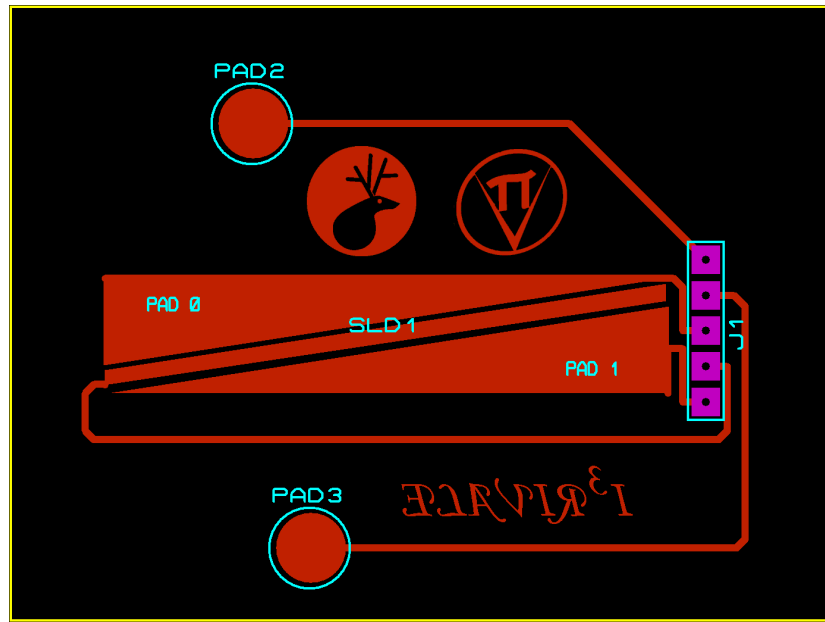


Figura 7-2.- Distribución de los pads

La distribución de los pads es la mostrada en la **Figura 7-2**, como se puede observar los pads 2 y 3 son botones que únicamente tienen 2 estados, uno presionado y otro en reposo, en las **Figura 7-3** y **Figura 7-4** se muestran las gráficas de los sensores 2 y 3 al ser presionados.

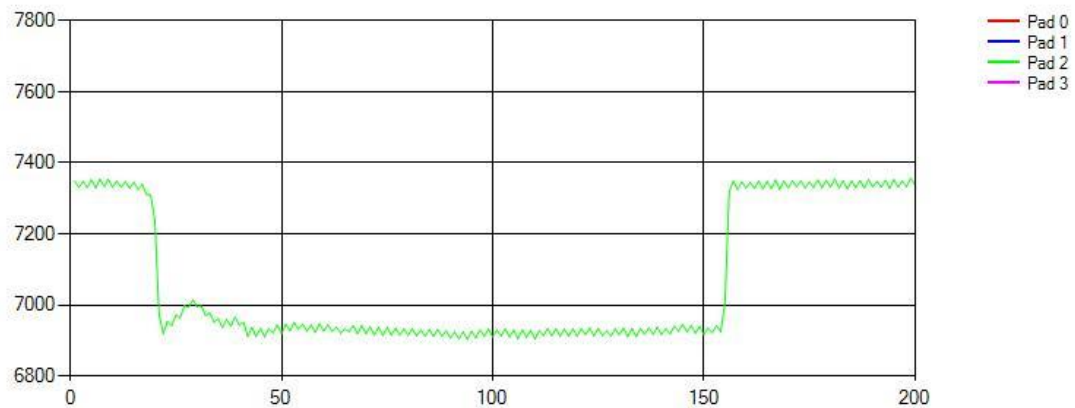


Figura 7-3.-Gráfica del comportamiento del pad 2 al ser presionado, donde el eje “Y” muestra el número de oscilaciones del sensor y en el eje “X” el número de muestras.

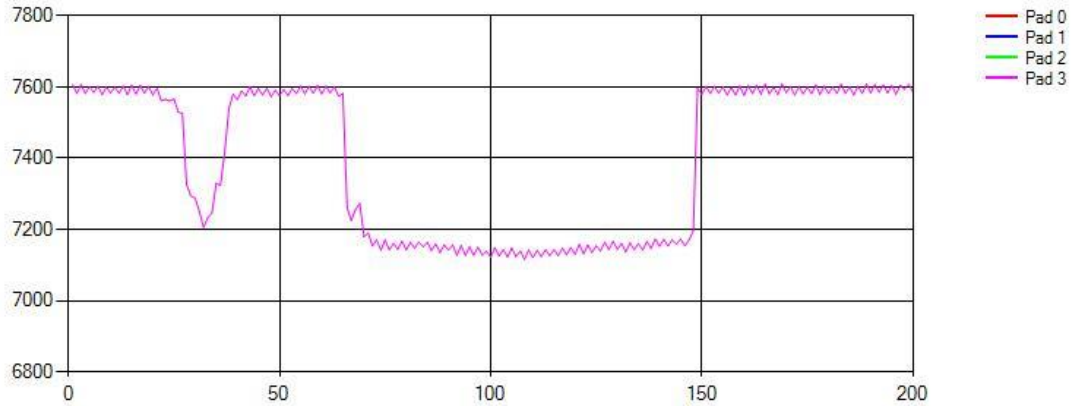


Figura 7-4.- Gráfica del comportamiento del pad 3 al ser presionado, donde el eje “Y” muestra el número de oscilaciones del sensor y en el eje “X” el número de muestras.

Los pads 0 y 1 forman un slider, el cual tiene diferentes valores dependiendo donde sea presionado, por lo que estos 2 pads se calibraran juntos para saber en qué parte del slider se encuentra el dedo del usuario

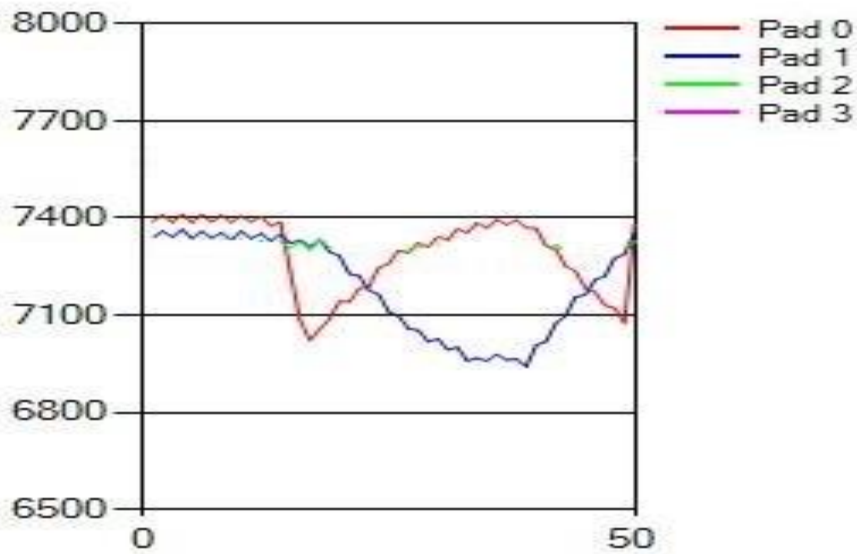


Figura 7-5.-Gráfica del comportamiento de los pads 0 y 1 que conforman el slider, donde el eje “Y” muestra el número de oscilaciones del sensor y en el eje “X” el número de muestras.

Como se puede observar en la **Figura 7-5** al presionar un extremo del slider uno de los pads se tiene al valor mínimo de su frecuencia mientras el otro se encuentra cerca de su valor de reposo, de la misma manera el otro extremo del slider invierte las frecuencias de los pads 0 y 1.

La **Tabla 7-1.-** Se muestran los valores obtenidos para cada sensor.

Número de pad	Valor en estado de reposo	Valor al ser presionado el pad	
		Extremo izquierdo del slider	Extremo derecho del slider
0	7420	7390	6910
1	6950	6950	7250
2	7380	6900	
3	7600	7180	

Tabla 7-1.-Valores medidos de los sensores

7.2. Pruebas del VEPI con usuarios.

En esta sección se muestran los comentarios de los 10 usuarios potenciales que utilizaron el prototipo VEPI con el simulador del mando táctil, **Figura 7-6**.

Los objetivos principales de dicha prueba fueron:

- Conocer las reacciones de las personas, ante una nueva propuesta de mando para la conducción del vehículo.
- Observar el comportamiento del usuario mientras realizan la conducción del VEPI.
- Registrar opiniones y comentarios de su experiencia en el vehículo.
- Generar una retroalimentación sobre el mando implementado en el VEPI.



Figura 7-6.- Primera prueba del VEPI con pasajero conduciendo.

Cabe mencionar que al momento de realizar la pruebas del mando implementado, éste solo movía el vehículo hacia adelante y hacia atrás.

Las pruebas se realizaron en:

- La Facultad de Ingeniería.
- El edificio de Posgrado de Ingeniería.
- Diseño industrial CIDI.

A continuación se muestran algunos comentarios que realizaron los usuarios, después de su experiencia al probar la nueva interfaz de manejo:

- ✓ Les agradó la experiencia de una nueva forma de manejo.
- ✓ Les hubiera gustado que el mando direccionara a la derecha y a la izquierda.
- ✓ Que la superficie del touch no fuera lisa, que tuviera un relieve, para que pudieran identificar donde tocar.

- ✓ En algunos movimientos sentían que no aportaban para la acción.
- ✓ Les pareció interesante y atractiva la idea de utilizar la tecnología táctil de los celulares.
- ✓ Sintieron comodidad al no realizar grandes esfuerzos.

8. Conclusiones.

Al término de este proyecto se consiguió concluir satisfactoriamente el diseño y fabricación de un prototipo experimental denominado VEPI, con el cual se lograron realizar pruebas de comportamiento exitosas.

Se realizó el diseño completo de un panel táctil que es capaz de identificar con gran precisión si es activado con la presencia del dedo o no, evitando así falsas señales de activación.

El mando propuesto es único en su aplicación porque:

- ❖ La investigación realizada en este trabajo mostró que no se ha aplicado la tecnología táctil para la conducción de un vehículo
- ❖ El VEPI puede ser controlado dentro del vehículo y vía remota.
- ❖ Cuando se termine de implementar el prototipo VEPI el mando puede ser utilizado por adultos mayores o personas que poseen alguna limitación física.
- ❖ Puede ser conducido por una segunda persona, que no esté en el vehículo, usando un teléfono celular o una computadora.

En cuanto a la determinación del diseño y los análisis teóricos:

- ✓ Se realizó una investigación exitosa para definir e implementar el mando en el vehículo, de acuerdo a los requerimientos y necesidades de los usuarios.
- ✓ Se generaron diversos conceptos y se evaluaron, para definir la que más se ajustara a los requerimientos de los usuarios.
- ✓ De acuerdo a las opiniones de los usuarios potenciales, se desarrolló una interfaz táctil.
- ✓ Aprendí el funcionamiento de un panel táctil y como implementarlo utilizando sensores capacitivos.
- ✓ Se diseñó un sensor capacitivo flexible, para que se pudiera adecuar al diseño del VEPI.
- ✓ Se hizo uso de una placa de cobre flexible para el diseño del touchpad, lo cual permitió libertad en el diseño del mismo.
- ✓ Se optimizó el tamaño de los pads para que estos fueran capaces de detectar la presión de un dedo en el menos espacio posible
- ✓ La interfaz táctil permite que el usuario no realice grandes esfuerzos al manejar el VEPI.
- ✓ Se diseñó una interfaz que fuera flexible para que el vehículo pueda ser conducido dentro y fuera del mismo.
- ✓ Se logró establecer una conexión inalámbrica

- ✓ Se realizaron pruebas de comunicación vía remota para definir el módulo inalámbrico a utilizar.
- ✓ El módulo de *Bluetooth* fue seleccionado ya que permite comunicarse sin necesidad de tener otro módulo, además de que se puede comunicar directamente con la computadora o un celular.
- ✓ Se desarrolló una interfaz para que el vehículo se pudiera manejar desde la computadora.
- ✓ Para poder calibrar el sensor se desarrolló un programa, el cual graficaba los valores iniciales del mismo (sin la presencia del dedo) y los valores al momento de ser activado el sensor (con la presencia del dedo).

En cuanto a nivel personal:

- ✓ La realización de este proyecto dejó aprendizaje y experiencia, al poder tener como resultado un diseño completo de un prototipo funcional.
- ✓ El trabajo en equipo aportó conocimientos de diversas áreas (haciendo énfasis en que fue multidisciplinario).
- ✓ Aprender a trabajar en equipo, coordinando las actividades y opiniones de los integrantes

8.1. *Trabajo a futuro.*

Uno de los alcances del proyecto fue la integración parcial de conceptos de diseño en el prototipo. Del tal modo que existe aún mucho trabajo a futuro por hacer para que el vehículo pueda ser un producto terminado que satisfaga las necesidades detectadas en el estudio realizado.

Los módulos o elementos que precisan de un proceso de diseño aparte, por su importancia en la formación del diseño conceptual son:

- **Mando del vehículo:** Realizar un programa para Android o iOS que ayude a controlar el vehículo de forma remota desde un celular.
- **Mecanismo para abatir o quitar el asiento:** Diseñar un mecanismo que permita al usuario:
 - Elegir y ajustar la posición de operación del vehículo de péndulo invertido, ya sea de pie o sentado.
 - Ajustar la altura del asiento.
 - Tener una posición cómoda en el manubrio en posición de pie y sentado.
- **Módulo de seguridad:** Diseñar módulos que aporten seguridad al usuario en:
 - En ascenso y descenso del móvil.
 - Durante la operación.
 - En caso de coalición.
 - En caso de volteo.
 - En caso de falla del sistema.
- **Suspensión:** Diseñar la suspensión del vehículo tal que permita al usuario tener una sensación confortable de manejo en terrenos irregulares.
- **Diseño de accesorios.**
 - Capota o chasis: Diseño de la cubierta, capota o chasis de modo que el usuario pueda protegerse ante cambios climáticos.
 - Espacio publicitario: Diseñar espacios publicitarios que puedan adaptarse como accesorios a la estructura.
 - Respaldo: Diseño de un respaldo ergonómico que pueda adaptarse como accesorio a la estructura del vehículo.
 - Canastilla: Diseño de una canastilla para portar objetos.

Referencias

- [1] **Datos de vehículos en circulación registrados en México por el INEGI**
http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=13158.
- [2] **Implementación de un controlador para un Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido**, Ricardo Vásquez, 2012, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis de maestría.
- [3] **Diseño de un Vehículo Eléctrico de dos ruedas basado en el principio del péndulo invertido**, Alfredo Mariscal, 2013, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis de maestría.
- [4] **Diseño mecánico de un prototipo de Vehículo Eléctrico de Péndulo Invertido**, Hugo Vargas, 2013, Facultad de Ingeniería, UNAM, Tesis de licenciatura.
- [5] **Tesis de Alfonso Gonzáles**, en curso.
- [6] **Design and Control of YAIP –an Inverted Pendulum on Two Wheels Robot** (2006). Johan A° kesson, Anders Blomdell and Rolf Braun; Munich, Germany
- [7] **Development of the Two-Wheeled Inverted Pendulum Type Mobile Robot WV-2R for Educational Purposes.**(2009) Jorge Solis, Ryu Nakadate, Yuki Yoshimura, Yuichiro Hama, and Atsuo Takanishi; St. Louis, USA
- [8] **Controller Design for Two-wheels Inverted Pendulum Mobile Robot Using PISMIC (2006)**. Nawawi S.W, Ahmad M.N, Osman J.H.S, Husain A.R and Abdollah M.F
- [9] <http://es.wikipedia.org/wiki/Segway>
- [10] <http://definicion.de/disen/>
- [11] **Diseño y desarrollo de productos** Ulrich, Karl. 4a Edición
- [12] <http://transporteinternacional.blogspot.mx/2006/09/historia-del-transporte.html>
- [13] http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/DeviceDoc/en542979.pdf
- [14] http://www.lacie-unlam.org/uea2010/trabajos/uea2010_submission_13.pdf
- [15] http://www.cytron.com.my/usr_attachment/mTouch_Introduction.pdf
- [16] <http://www.youtube.com/watch?v=JVRuDY4X88M>
- [17] <http://www.gestiopolis.com/administracion-estrategia/tecnologias-inalambricas.htm>
- [18] <https://www.sparkfun.com/products/9582>
- [19] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3607/2/36416-2.pdf>
- [20] <https://www.sparkfun.com/products/10269>
- [21] <http://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Bluetooth/rn-bluetooth-um.pdf>
- [22] <http://www.bbc.co.uk/news/uk-england-leeds-11416654>

Anexos

Resultados de la encuesta realizada para el proyecto del VEPI.

