

Sistema de Detección de Objetos para las Personas con Discapacidad Visual



**Proyecto de Trabajo de Grado
TG. 1319**

David Felipe Prieto Acevedo

Director: Ing. Germán Yamhure Kattah

**Pontificia Universidad Javeriana Bogotá
Facultad de Ingeniería Electrónica
2014**

Agradecimiento

En primera instancia me gustaría dar las gracias a todas las personas que me ayudaron al desarrollo de este proyecto, mis padres, mis amigos, el ingeniero Germán Yamhure, pero en especial al ingeniero Mazeyar Cheguini, quien en un principio fue el director del proyecto y por problemas ajenos a el no pudo continuar, y que sin su ayuda este proyecto no habría llegado a un buen término.

Índice

1.	Introducción.....	6
2.	Objetivo general y objetivos específicos	8
3.1.	Discapacidad visual	9
3.2.	Sustitución sensorial	9
3.3.	Pro percepción	10
3.4.	Transductores.....	10
3.5.1.	Sensor de proximidad	11
3.5.2.	Actuador	12
3.5.2.1.	Servomotor	12
3.5.2.2.	Motor vibrador	13
3.6.	Baterías	13
3.7.	Micro Controlador	13
3.8.	Sistema embebido	14
4.	Descripción.....	15
5.	Especificaciones	17
5.1.	<i>Hardware</i>	17
5.2.	<i>Software</i>	17
6.	Desarrollos.....	17
6.1.	Sustitución sensorial	17
6.2.	Selección de componentes	18
6.2.1.	Sensor	18
6.2.2.	Actuador	22
6.2.3.	Demás componentes.....	23
6.2.3.1.	Micro controlador	23
6.2.3.2.	Batería.....	24
6.3.	Disposición del sensor	26
6.4.	<i>Software</i>	27
6.5.	PCB.....	32
6.6.	Diseño del guante para el acople sistema embebido con el dorso de la mano.....	38
6.7.	Diseño del sistema de soporte del sistema embebido	40
6.8.	Blind Tact	45
7.	Análisis de resultados	47
7.1.	Circuito impreso	47
7.2.	Sistema embebido	51
7.3.	Experimentos	53
7.3.1.	Experimento 1	53
7.3.2.	Experimento 2	56
7.3.3.	Experimento 3	59
8.	Conclusiones.....	65
9.	Bibliografía.....	66

FIGURA 1. BASTÓN BLANCO. [1].	6
FIGURA 2. ENTREGA INFORMACIÓN AL USUARIO	7
FIGURA 3. PWM SERVO MOTOR.	14
FIGURA 4. DIAGRAMA DE BLOQUE SISTEMA EMBEBIDO	15
FIGURA 5. SEÑAL DE RETROALIMENTACIÓN.	16
FIGURA 6. SENSOR ULTRASÓNICO XL-MAXSONAR- EZ MB121	21
FIGURA 7. MOVIMIENTO REALIZADO CON EL BASTÓN.	27
FIGURA 8. SEÑAL PROVENIENTE DEL SENSOR.	29
FIGURA 9. PROGRAMA PARA CONTROLAR SERVO MOTORES EN ARDUINO.	30
FIGURA 10. SEÑAL QUE REPRESENTA EL FUNCIONAMIENTO DEL SERVOMOTOR EN EL BLIND TACT.	31
FIGURA 11. PROGRAMA BLIND TACT.	32
FIGURA 12. GRÁFICO PARA ANCHO DE CAMINOS [36]	33
FIGURA 13. CIRCUITO ESQUEMÁTICO BLIND TACT.	34
FIGURA 14. VISTA SUPERIOR DISEÑO PCB BLIND TACT.	35
FIGURA 15. VISTA INFERIOR DISEÑO PCB BLIND TACT.	36
FIGURA 16. VISTA SUPERIOR CIRCUITO FINAL PARA MONTAR	36
FIGURA 17. VISTA INFERIOR CIRCUITO FINAL PARA MONTAR.	37
FIGURA 18. PCB FINAL	37
FIGURA 19. TAMAÑOS DORSO DE LA MANO [37]	38
FIGURA 20. PRIMER PROTOTIPO DEL GUANTE	39
FIGURA 21. PROTOTIPO FINAL DEL GUANTE.	39
FIGURA 22. GUANTE PUESTO	40
FIGURA 23. UBICACIÓN DEL SENSOR SOBRE EL DORSO DE LA MANO.	41
FIGURA 24. PLATAFORMA SOBRE EL GUANTE	42
FIGURA 25. SIMULACIÓN REALIZADA EN 3D MAX.	42
FIGURA 26. DISEÑO PLATAFORMA.	44
FIGURA 27. DISPOSICIÓN FINAL DE LOS COMPONENTES	45
FIGURA 28. BLIND TACT PRIMER PROTOTIPO	45
FIGURA 29. BLIND TACT SEGUNDO PROTOTIPO.	46
FIGURA 30. BLIND TACT PROTOTIPO FINAL.	46
FIGURA 31. PCB FINAL	47
FIGURA 32. ESPECIFICACIÓN COMPONENTES.	48
FIGURA 33. PRUEBA CIRCUITO IMPRESO	49
FIGURA 34. SEÑAL PROVENIENTE DEL SENSOR VISTA EN EL OSCILOSCOPIO.	50
FIGURA 35. SEÑAL QUE RIGE EL SERVOMOTOR VISTA DESDE EL OSCILOSCOPIO.	50
FIGURA 36. CONSUMO DEL SISTEMA EMBEBIDO.	51
FIGURA 37. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL BLIND TACT.	52
FIGURA 38. SISTEMA EMBEBIDO.	53
FIGURA 39. EXPERIMENTO 1	54
FIGURA 40. VALOR PROMEDIO.	55
FIGURA 41. ERROR	55
FIGURA 42. GRÁFICO PRUEBA 10 [CM].	57
FIGURA 43. GRÁFICO PRUEBA 5 [CM]	58
FIGURA 44. GRÁFICO PRUEBA 5 [CM].	59
FIGURA 45. RESPUESTA SUJETO 1 A 10 [CM]	61
FIGURA 46. RESPUESTA SUJETO 2 A 10 [CM]	61
FIGURA 47. RESPUESTA SUJETO 3 A 10 [CM]	62
FIGURA 48. RESPUESTA SUJETO 1 A 5 [CM]	63
FIGURA 49. RESPUESTA SUJETO 2 A 5 [CM]	63
FIGURA 50. RESPUESTA SUJETO 2 A 5 [CM]	64

TABLA 1. SOLUCIÓN TEMPORAL DEL DORSO DE LA MANO [29, 30]	16
TABLA 2. LÍMITE DE PRESIÓN ESTÁTICA DETECTADA EN LA SUPERFICIE DE LA PIEL DEL SER HUMANO. [3]	18
TABLA 3. CUADRO COMPARATIVO APLICACIÓN VS. TECNOLOGÍA [31]	19
TABLA 4. COMPARATIVO SENSORES	20
TABLA 5. DESCRIPCIÓN DE LOS PINES DEL SENSOR. [18]	22
TABLA 6. CONSUMO COMPONENTES DISCRIMINADO	24
TABLA 7. CUADRO COMPARATIVO TIPOS DE BATERÍAS	25
TABLA 8. CÁLCULO DEL BAUD RATE	28
TABLA 9. COMPONENTES SOBRE LA PLATAFORMA	43
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS CIRCUITO IMPRESO	47
TABLA 11. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES EN EL CIRCUITO IMPRESO.	49
TABLA 12. TIEMPO DE RESPUESTA PARA 10 [CM].	57
TABLA 13. TIEMPO DE RESPUESTA PARA 5 [CM].	58
TABLA 14. TIEMPO DE RESPUESTA PARA 2 [CM].	59
TABLA 15. TIEMPO DE RESPUESTA PARA 10 [CM]	62
TABLA 16. TIEMPO DE RESPUESTA PARA 5 [CM]	64

1. Introducción

Alrededor de 285 millones de personas en el mundo sufren de discapacidad visual y, por lo general, para transitar, utilizan el bastón blanco. (*Figura 1*) [5].



Figura 1. Bastón blanco. [1].

Es conveniente crear un dispositivo que permita a las personas con discapacidad visual caminar más cómodamente y que además les permita identificar obstáculos a una altura superior a la de sus rodillas, que es la elevación máxima que pueden alcanzar con el bastón blanco.

Este documento describe el desarrollo del sistema embebido *Blind Tact*, diseñado para mejorar el desplazamiento de las personas con discapacidad visual.

El funcionamiento del *Blind Tact* se basa en un sensor de proximidad, un micro controlador y un actuador.

El sensor de proximidad, que actúa por medio de ultrasonido, es la herramienta que realizará la medición de distancia entre el obstáculo y el usuario, proceso que será explicado en el capítulo *Selección de Componentes*.

El micro controlador es el cerebro del sistema embebido, ya que procesará la información captada por el sensor con el fin de que el actuador informe al usuario acerca del entorno a través de toques.

El actuador es el mecanismo que divulgará al usuario todas las percepciones que produjo el dispositivo.

En este caso el sistema embebido difunde la información a la persona con base en el concepto de sustitución sensorial; es decir, teniendo en cuenta que el cuerpo conoce el lugar en donde está ubicada cada parte que lo compone sin necesidad de estar mirando, concediendo así la comunicación en forma de estímulos vibro-táctiles sobre el dorso de la mano con una frecuencia proporcional a la distancia (*Figura 2*) (ver sección 3.2 y sección 6.2).

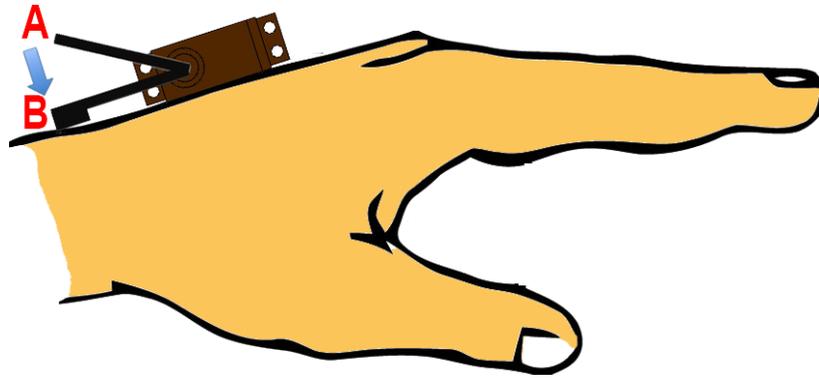


Figura 2. Entrega información al usuario

El desarrollo de este proyecto se efectúa mediante la investigación consignada en el capítulo 3, donde se expone todo el estudio teórico de los temas tratados en esta iniciativa y se sustenta su necesidad; desarrollo y pruebas básicas, análisis que exhibe las condiciones de selección de los componentes para lograr los objetivos generales y específicos de la indagación.

Esta categoría también manifiesta los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en la práctica como la reunión con el ciudadano Norbey Salazar, persona con discapacidad visual perteneciente a una fundación para individuos sordos y ciegos. Luego de conocer estas necesidades que se deben satisfacer se procede a escoger los componentes más adecuados para este proyecto, para así entrar a conocerlos y manejarlos, con la finalidad de integrarlos y desarrollar un programa que maneja el dispositivo, esta información se puede encontrar con mayor detalle en el capítulo 5 y sus literales.

Se realiza una etapa de pruebas, en donde se tiene como finalidad probar la funcionalidad del dispositivo y comprobar si en realidad la hipótesis hecha, entregar la información como en la Figura 2 es entendible por el usuario, sea invidente o no. En el capítulo 6 se podrá ver que estas pruebas y experimentos comprenderán desde caracterización de componentes hasta pruebas con personas.

La culminación de este proyecto viene con una etapa resultados, conclusiones y trabajos futuros o mejoras para el proyecto, en otras palabras, en esta etapa se realizara el análisis de la etapa anterior y a partir de esto se realizaran conclusiones definitivas respecto al proyecto y algunas sugerencias de cómo se podría mejorar el proyecto en posibles trabajos futuros.

2. Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo es “*Desarrollar e implementar un dispositivo de detección de objetos para personas con discapacidad visual*” que brinde una movilización espacial alternativa más óptima, en comparación con los métodos convencionales como el bastón.

Existen diversos mecanismos que promueven el desplazamiento efectivo de los ciudadanos con este tipo de discapacidad.

Uno de ellos es el “*Ultra Cane*, un bastón que funciona con dos sensores ultrasónicos que perciben obstáculos en la vía e informan al usuario sobre sus detecciones por medio de un sonido que se emite con una frecuencia proporcional a la distancia. Sin embargo, el *Ultra Cane* es un bastón costoso, se vende a un precio de 1.350 dólares [23], mientras que otros dispositivos similares se pueden adquirir a menor valor, entre 24 hasta 100 dólares, dependiendo de su material de fabricación. [24]

Para desarrollar el *Blind Tact* se deben tener en cuenta parámetros u objetivos específicos para crear “*un sistema embebido que tendrá un rango mayor a 1.5 m y una resolución mejor de 2 cm a una frecuencia de muestreo mínimo de 10 Hz*”, dispositivo que funcionaría sobre el dorso de la mano, característica que solicita “*Diseñar el sistema de soporte para el sistema embebido*”, meta que por ende necesita un análisis acerca de la disposición de los componentes para que el diseño del soporte sea lo más funcional posible; por ejemplo, indagar sobre cómo será la ubicación del actuador, interrogante que sería resuelto al “*Estudiar la fuerza y la frecuencia de vibración de los actuadores para realizar sobre el dorso de la mano*” y lograr ofrecer una retroalimentación segura que no cause ninguna clase de daño físico al usuario.

3. Marco conceptual

Este capítulo trata sobre toda la investigación teórica que es necesaria realizar para un proyecto de este tipo, cabe mencionar que todos los conceptos aquí consignados están pensados para el desarrollo de este proyecto, por lo que son muy específicos, orientados a entender cómo se va a desarrollar el sistema embebido *BlindTact* y adicionalmente saber cuál es la finalidad del mismo. Es por esto que se van a entrar a estudiar conceptos tales como Discapacidad visual, Pro Percepción o Háptica, entre otros.

3.1. Discapacidad visual

La ceguera es una discapacidad de origen congénito u originada por factores externos que afectan día a día a un mayor número de personas. En el mundo existen alrededor de 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones, es decir, el 13,68 %, son ciegos, y 246 millones sufren de baja visión.

En países desarrollados se presenta la mayor concentración de personas discapacitadas visualmente en todo el mundo, con un 90% de los seres humanos afectados por esta enfermedad; mientras que las naciones de medianos y bajos ingresos económicos albergan al 10% de la humanidad que posee defectos de visión, aunque en estos estados proliferan enfermedades relacionadas con la vista que en los países del primer mundo ya han sido erradicadas. [4, 5]

La función visual se subdivide en cuatro niveles: visión normal, discapacidad visual moderada, discapacidad visual grave y ceguera. Por lo general la discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave son agrupadas y se les denomina baja visión.

Las causas principales de la discapacidad visual en el mundo son:

- Errores de refracción (miopía, hipermetropía o astigmatismo) no corregidos: padecimientos que afectan al 43 % de los pacientes con alguna discapacidad visual.
- Cataratas no operadas: perjudican la calidad de visión de un 33 % de la población con determinada enfermedad de la vista.
- Glaucoma: es un defecto que poseen el 2% de los discapacitados visuales.

Según las cifras del censo del DANE de 2005, en Colombia hay alrededor de 2'632.255 personas con algún tipo de discapacidad. De este total, el 43,5 %, es decir, 1'143.992, sufren problemas relacionados con la visión. Para 2013 se estimaba que esta cifra aumentara hasta 1,3 millones de personas. [12]

De acuerdo con las estadísticas, podemos evidenciar que la discapacidad visual es un problema crítico que afecta a un gran número de personas en nuestro país y el hecho de que incrementa gradualmente significa que es necesaria la aplicación de nuevas tecnologías, basadas en conceptos como sustitución sensorial, que permitan que los afectados logren relacionarse e interactuar con los demás ciudadanos de manera más armónica y autónoma; así, cambiar el paradigma actual de que las personas con discapacidad visual grave o moderada, por lo general, necesitan la colaboración de un individuo vidente para llevar a cabo diferentes tareas de su vida cotidiana. [13]

3.2. Sustitución sensorial

La sustitución sensorial se refiere a permitir que un órgano que realiza una función determinada pueda llevar a cabo otra diferente, que ejecuta un órgano que perdió su funcionamiento.

El sistema cuenta con tres componentes: un sensor, un sistema de acoplamiento y un estimulador. El sensor se encarga de recibir o percibir la información que la persona con discapacidad no es capaz de distinguir; el sistema de acoplamiento conecta estas percepciones con el cuerpo humano; el estimulador notifica las apreciaciones al usuario a través de un receptor sensorial. [2]

Cuando una persona es diagnosticada como ciega o sorda, no significa que haya perdido adicionalmente la capacidad de ver u oír. Sin embargo, en muchos casos se descubre que lo que el paciente realmente dejó de poseer y manejar es la habilidad de transmitir señales sensoriales desde la periferia hacia el cerebro.

3.3. Pro percepción

Este concepto trata sobre la capacidad que posee el cuerpo humano de conocer en dónde está situada cierta parte sin necesidad de recurrir a la vista, es decir, conocer en qué lugar o posición en se encuentra una cosa o parte del cuerpo sin la necesidad de estar mirándola. Este concepto ha cambiado con el tiempo y hoy se basa en tres criterios que para la Pro percepción son básicos:

- Estarestecia: provisión de conciencia de posición articular estática.
- Cenestecia: conciencia de movimiento y aceleración.
- Actividades efectoras: respuesta refleja y regulación del tono muscular.

Un concepto muy utilizado en el desarrollo de sistemas sustentados en el concepto de Pro percepción es la háptica, la cual se refiere a la conciencia del tacto y suele considerarse como el estudio del comportamiento del contacto y la sensación, por lo que se puede ver la relación con el concepto de la Pro percepción. Este concepto de háptica también suele referirse al conjunto de sensaciones no visuales ni auditivas que puede sentir un individuo.

3.4. Transductores

Un transductor es un dispositivo que se encarga de convertir una señal física en otra señal de diferente tipo de energía la cual es proporcional a la anterior o tienen una relación entre ellas. Existen diferentes tipos de señales manejadas por estos dispositivos, entre las cuales se encuentran las señales mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, etc. Conforme a esto se pueden ver dos grandes grupos dentro de los transductores: los sensores y los actuadores.

Los sensores son mecanismos que funcionan como captadores de información de un proceso, por lo que también son conocidos como captadores o detectores. En general, transforman una magnitud física en una señal eléctrica de baja potencia o en una señal óptica.

Por otro lado, los actuadores son dispositivos capaces modificar la evolución de un proceso, un sistema o una planta, es decir, pueden tener una acción directa sobre un proceso. En este caso en particular los actuadores se van a encargar de convertir una señal eléctrica en una acción física.

Los sensores se suelen clasificar de acuerdo a la magnitud medida; dependiendo de si mide presión, humedad, caudal, proximidad, aceleración, velocidad, etc. Sin embargo, este tipo de clasificación resulta compleja debido al gran número de magnitudes físicas que pueden ser medidas, por lo que resulta necesario realizar otros tipos de clasificaciones que ayuden a distinguirlas.

- Clasificación por la señal de salida generada por el sensor: si es analógica, digital o temporal.

- Clasificación por el aporte de energía: si son pasivos o activos, donde activos se refiere a que el sensor no necesita una alimentación externa y pasivos cuando necesitan un aporte energético externo.
- Clasificación por modo de operación: los sensores tienen dos modos de operación: por deflexión, que se refiere a que al realizar algún tipo de medición el sensor genera una acción física; por comparación, en donde se tiene una magnitud conocida la cual se compara con la que es medida, tratando de que la deflexión sea cero.
- Clasificación por la relación Entrada/Salida: los sensores pueden ser de diferentes órdenes. El orden está relacionado con el número de elementos almacenadores de energía, en donde la función de transferencia será una ecuación diferencial del mismo orden del sensor.
- Clasificación desde el punto de vista electrónico: se clasifican de acuerdo con el parámetro eléctrico más atractivo del sistema.

Se entrará a estudiar los diferentes tipos de sensores de proximidad, esto debido al funcionamiento del sistema embebido, descrito anteriormente, que debe censar una distancia.

3.5.1. Sensor de proximidad

Dentro de muchos procesos industriales y aplicaciones específicas, una de las principales informaciones que se necesita extraer de un proceso determinado es la presencia o ausencia de un objeto u obstáculo. Todos los dispositivos encargados de proporcionar una señal en función de la presencia de un objeto son conocidos como sensores de proximidad. La detección de presencia depende de ciertos factores como distancia, velocidad, tipo de material, etc. La amplia variación de estos factores hace que existan diferentes maneras de detección que dan lugar a diversos tipos de sensores. Por lo anterior, es necesario dividir los sensores de proximidad en dos grupos que facilitan su identificación: sensores con contacto y sensores sin contacto. Debido a la funcionalidad del sistema *Blind Tact* solo se considerarán los sensores sin contacto, para luego entrar a discutir los diferentes métodos de medición de estos.

3.5.1.1. Sensores sin contacto

Estos sensores, como su nombre lo indica, no necesitan realizar un contacto para identificar la distancia a la cual se encuentra un objeto. Estos transductores conforman un grupo muy amplio en donde se pueden ver tipos de sensores muy diferentes pero que siguen contenidos dentro de este grupo. La ventaja principal de este sensor es que no maneja corrientes altas. Gracias a la amplia variedad de sensores sin contacto, prácticamente existe un transductor que se acopla a cada aplicación. [25]

En este grupo de sensores hay unos muy diferentes entre sí, como ya se había mencionado. Esto debido a que abarcan transductores con principios de funcionamiento muy distintos entre ellos, como, por ejemplo, sensores que se basan en la transmisión del sonido o sensores que se fundamentan en la inducción magnética.

Cabe mencionar que todos estos sensores necesitan una alimentación externa y están clasificados dentro del grupo de sensores sin contacto. También están contenidos dentro de la clasificación por el aporte energético, donde todos son pasivos. Se profundizará en los diferentes tipos de principio de funcionamiento de estos sensores a continuación. [25]

- Sensores capacitivos: su funcionamiento se basa en la detección de la variación de la permitividad del medio próximo al sensor, lo que genera una variación de la capacidad electro estática. Son utilizados para detectar diversos objetos con diferentes tipos de materiales, siempre y cuando el material pueda servir como dieléctrico o conductor. Por lo anterior, son muy utilizados como sensores de nivel, sin embargo cuentan con desventajas como sensibilidad en presencia de polvo y suciedad, además, de verse afectados por la humedad.
- Sensores inductivos: su funcionamiento se fundamenta en la detección de corrientes parásitas inducidas en el objeto a detectar. Estas corrientes son producidas por un campo magnético que el sensor se encarga de producir. Por lo anterior, se sabe que estos sensores solo detectan objetos metálicos. Tienen características como que son menos sensibles a efectos externos que los capacitivos, miden distancias pequeñas y tienen buena sensibilidad. Por otro lado, se ven afectados por elementos externos que generen un campo magnético.
- Sensores opto – eléctricos: conforman un grupo bastante grande ya que presentan múltiples configuraciones. Sin embargo, todos se basan en el mismo principio de emisión de un haz de luz y su posterior detección. En general, cuentan con gran precisión además de captar mayores distancias que los anteriores. Detectan casi todo tipo de material con gran rapidez. Pero también cuentan con grandes desventajas como que se ven afectados por la suciedad, luz ambiente, además de tener un costo más elevado y una electrónica más exigente.
- Sensores ultrasónicos: estos basan su funcionamiento en la detección del eco procedente de un objeto a detectar luego de haber emitido un sonido no audible por el ser humano o ultrasonido, por medio de la medición del tiempo que tarda en llegar el eco ocasionado por el rebote con el objeto. Este tipo de sensor es efectivo en casi todo tipo de material, con la condición de que permita la reflexión del sonido. Estos no son sensibles a efectos externos a menos de que estén en un ambiente en donde se generen más ultrasonidos.
- Sensores magnéticos: su funcionamiento está basado en la detección de campos magnéticos, es decir, identifican objetos que tengan incorporado un imán o un objeto metálico siempre y cuando el transductor tenga imán interno. Estos sensores presentan gran sensibilidad, sin embargo, cuentan con una distancia de detección reducida además de presentar sensibilidad en presencia de campos magnéticos externos.

3.5.2. Actuador

Un actuador es un dispositivo que se encarga de recibir algún tipo de señal para luego transformarla en una fuerza o en un movimiento y realizar un proceso o cumplir con una acción. En electrónica, los actuadores son muy utilizados ya que se encargan de cumplir una acción de control o cualquier tipo de acción. Por ejemplo, los servomotores son utilizados como actuadores de posicionamiento preciso. [25]

3.5.2.1. Servomotor

Un servomotor es un actuador que posee la capacidad de ser controlado tanto en posición como en velocidad. Es un dispositivo muy similar a un motor DC, el cual cuenta con la posibilidad de ubicarse en cualquier posición, dependiendo de su rango de funcionamiento, es decir, de los grados que puede moverse.

El control de estos se realiza mediante una modulación por ancho de pulso o PWM por sus siglas en inglés (Pulse Width Modulation). Con esta señal se logra controlar el actuador en dirección y posición y es así como responde dependiendo del ancho de banda de la señal. Por lo general, los

servomotores trabajan a una frecuencia de 50 Hz. Con esto, la señal del PWM cuenta con un periodo de 20 ms. [26]

3.5.2.2. Motor vibrador

Un motor vibrador es, en esencia, un dispositivo que cuenta con un motor mal equilibrado. En otras palabras, tiene una pesa descentrada unida al eje de rotación del motor, lo que genera que el motor oscile o vibre. Esta oscilación o vibración depende directamente del peso nominal de la pesa, de la distancia a la que se encuentra la pesa del eje y la velocidad con la que el eje gira.

Para controlar este actuador con un micro controlador es necesario recurrir a un circuito. Un micro controlador no es capaz de entregar la corriente suficiente para que funcione por lo que es necesario un circuito que controle el flujo de corriente al motor. [27]

3.6. Baterías

Una batería, que es una celda eléctrica, es un dispositivo que produce electricidad gracias a una reacción química. En una batería de una celda, se puede encontrar un electrodo negativo, el cual conduce los iones; un separador, que adicionalmente es un conductor de iones, y; un electrodo positivo.

Se pueden encontrar varios tipos de baterías como las de Li – Ion o alcalinas. Estas y otras se estudiarán más a fondo en el capítulo de desarrollos, en la sección de selección de componentes, en la cual se incluyen consideraciones como cuál es la mejor tecnología para esta aplicación en específico, además de realizar el cálculo para el tiempo de independencia del sistema embebido, todo esto soportado en estudios realizados con personas con discapacidad visual. [28]

3.7. Micro Controlador

Este es un circuito integrado programable, el cual ejecuta una serie de acciones programadas por memoria. Un micro controlador está constituido, por lo general, por una unidad central de procesamiento o CPU, donde se ejecutan todas las instrucciones o acciones que fueron programadas, es decir, que están contenidas en memorias de almacenamiento. [17]

La memoria de almacenamiento es donde se guarda el código elaborado por el usuario. Adicionalmente, almacena los datos adquiridos mientras el micro controlador ejecuta acción y tiene módulos de entradas y salidas. De esta forma, el micro controlador interactúa con su entorno, es decir, recibe y entrega datos al usuario.

Un micro controlador cuenta con periféricos los cuales son los dispositivos auxiliares de la CPU, que permiten la integración de *Hardware*, es decir, la transformación de un equipo a un sistema embebido para realizar operaciones de entrada/salida complementarias a los procesos realizados por la CPU, como por ejemplo: comunicación tipo *UART*, la cual se encarga de transmitir datos seriales a través de un pin transmisor, *TxD* y un pin receptor, *RxD* o *PWM*. Es un método para modificar el ciclo útil de una señal cuadrada y así controlar la potencia promedio de esta señal. Este ciclo útil se refiere a la relación porcentual del tiempo que gasta en estado alto con relación al periodo de la señal. [17]

El *PWM* es muy utilizado con servomotores (*Figura 3*) que permiten controlar su posición, dependiendo del margen de operación del actuador, es decir, de 0° a 90° , 180° o 360° , y controlar frecuencia dependiendo de la frecuencia máxima y mínima de operación del servomotor. [26]

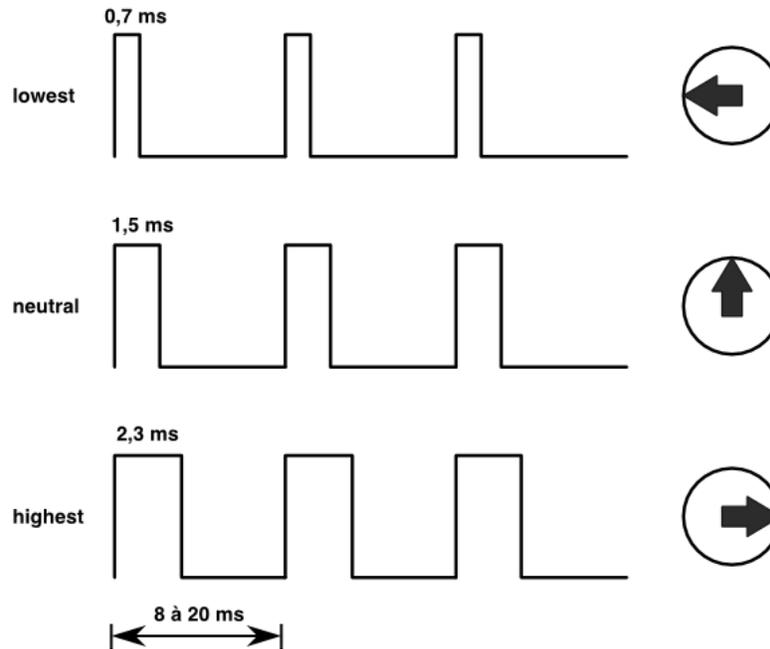


Figura 3. PWM servo motor.

3.8. Sistema embebido

Un sistema embebido (*Figura 4*), donde embebido proviene del anglicismo *embedded* y significa empotrado, incrustado o unido, se refiere a un dispositivo que realiza una tarea en específico sin importar cómo es realizada. Es así como la unión de *Hardware*, *Software* y, dependiendo del fin dispositivo, piezas mecánicas o de otro tipo, generan un sistema embebido para una tarea específica.

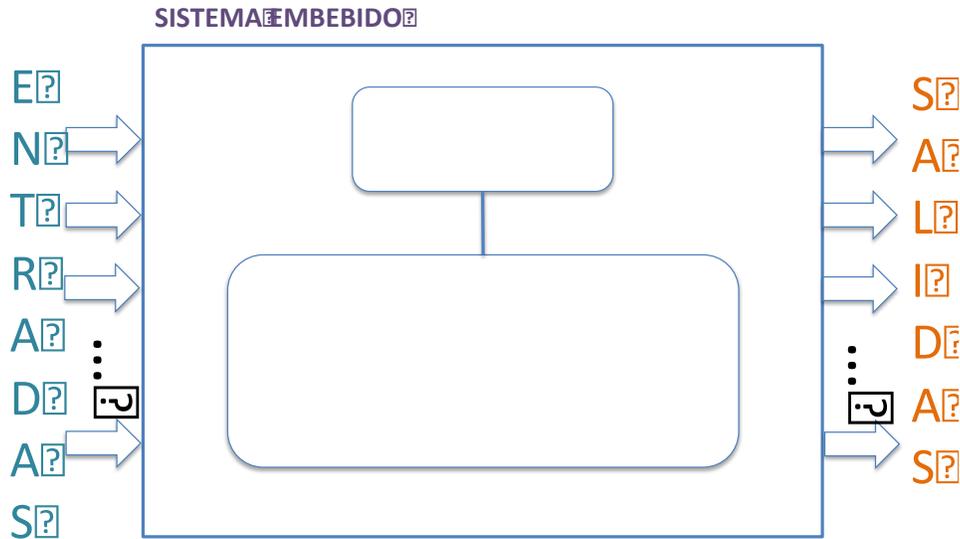


Figura 4. Diagrama de bloque sistema embebido

¿Cuál es la diferencia entre un sistema embebido y una computadora si, en esencia, son lo mismo? La diferencia fundamental entre estos es que la computadora está diseñada para realizar muchas tareas simultáneamente, mientras que un sistema embebido es un dispositivo dedicado a realizar una sola tarea.

Aunque esta combinación de *Hardware* y *Software* puede ser remplazada por un solo integrado, dependiendo de la aplicación, el sistema embebido es mucho más útil, fácil y flexible, debido a que a la hora de realizar alguna modificación del programa o del dispositivo físico como tal, resulta mucho más sencillo. La combinación tendría que ser reemplazada por completo. [28]

4. Descripción

El sistema embebido está dispuesto sobre un guante, donde todos los componentes están dispuestos sobre el dorso de la mano. Este sistema cuenta con una polarización de 5 V de los componentes y, conociendo el voltaje nominal de la batería (3,7 V) se recurre a un regulador para que los 5 V del voltaje de polarización, sean constantes. El *Blind Tact* cuenta con un sensor de distancia que se encarga de adquirir los datos para que el micro controlador los traduzca al usuario.

Gracias a los estudios realizados, dentro de los cuales se encuentran entrevistas e investigaciones, se pudo llegar a la conclusión de que el sistema tiene que empezar a adquirir datos a mínimo una distancia entre 40 y 60 cm, esto debido a que una personas con discapacidad visual, ya habiendo ubicado un obstáculos a estas distancias, inclusive menores, por pro percepción ya conocen la ubicación de su propio brazo o mano y, por ende, el lugar en donde se encuentra el obstáculo.

Por otra parte, este dispositivo debe contar con una distancia máxima entre 170 y 190 cm, lo que les permite a las personas con esta discapacidad ubicar con antelación objetos que pueden llegar a obstaculizar su camino. Adicionalmente, se debe tener en cuenta uno de los objetivos específicos donde se dice que el sistema podrá medir un rango superior a 150 cm, es decir que teniendo una distancia mínima de medición y una distancia máxima, el delta entre estas tendrá que ser de 150 cm. [1, 32]

Con respecto al programa que manejará al micro controlador, este realizará la adquisición del dato para luego aplicarlo al cálculo de la frecuencia con la que el actuador deberá responder. Es decir, la frecuencia con la que el servomotor tocará el dorso de la mano dependerá, en primera instancia, de la capacidad de respuesta del actuador, ya que, basado en esa velocidad de respuesta, será seleccionada la reacción del servomotor para la distancia mínima y así tener una referencia, para que cuando el programa tome el dato que el sensor está adquiriendo, lo compare con esta referencia mínima de distancia y, conociendo la respuesta a esta distancia, haga el cálculo de la frecuencia con la que será tocado el dorso de la mano para ese dato en específico.

En la Figura 5 se puede ver la señal de retroalimentación al usuario. A partir de esta y de las especificaciones fisiológicas del dorso de la mano, se realiza la escogencia del sensor.

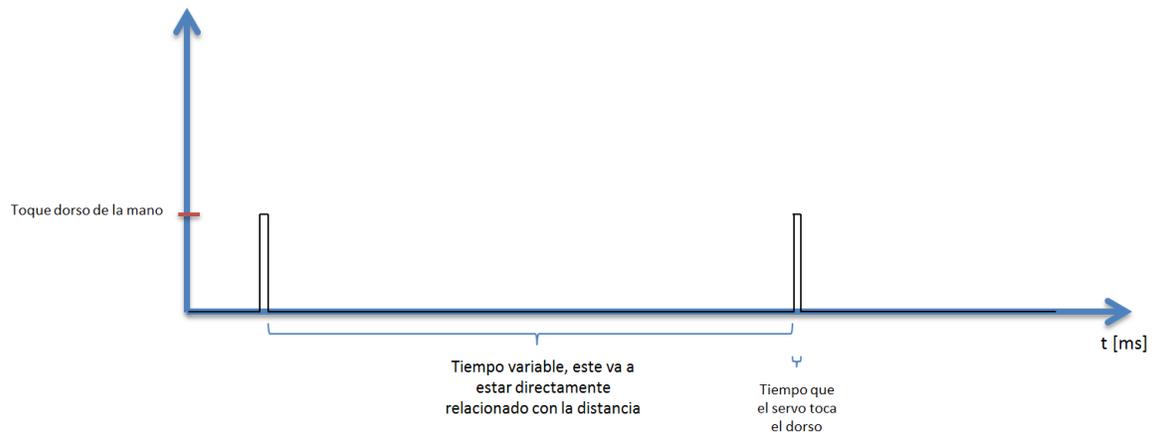


Figura 5. Señal de retroalimentación.

El tiempo que requiere el servomotor para tocar el dorso de la mano es fijo y el lapso entre cada vez que el servomotor toque el dorso es variable. Para poder identificar las especificaciones fisiológicas fue necesario recurrir a literatura como “Tactile Feedback Systems”, “Comparison of Skin Stretch and Vibrotactile Stimulation for Feedback of Proprioceptive Information” o el libro “Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation and Application”. Se obtuvo la siguiente tabla:

Temporal Solution	Value
Successive tap time	30 ms
Bandwidth sense	0 - 1000 Hz
Reaction time	800 - 1200 ms

Tabla 1. Solución temporal del dorso de la mano [29, 30]

A partir de la tabla anterior se puede identificar qué tipo de actuador es el que se ajusta más al proyecto.

5. Especificaciones

Se requiere un dispositivo que sea polarizado con 5 V, que cuente con una distancia mínima que pueda medir al menos un valor entre 40 cm y 60 cm. Por otra parte el dispositivo en la parte de retroalimentación al usuario deberá satisfacer los datos registrados en la Tabla 1.

5.1. Hardware

- Un sensor ultrasónico *XL-MaxSonar- EZMB121*.
- Un regulador REG104-5.
- Un servomotor *Micro Servo 9g A0090*.
- Un micro controlador *ATmega 328P*.
- Un sistema de soporte para el sistema embebido.
- Un sistema de acople entre el sistema embebido y mano de usuario.

5.2. Software

- Ciclo de trabajo de 10 Hz, lo que significa que en 100 ms se debe ejecutar la adquisición de datos, el procesamiento de los mismos y la salida *PWM* al servomotor.
- Módulo de comunicación *UART*.

6. Desarrollos

En este capítulo estará expuesto todo el trabajo que se realizara para el desarrollo del sistema embebido *Blind Tact*, como las investigaciones para la disposición de los componentes, para el acople del mismo con el usuario y desarrollo del circuito impreso del *Blind Tact*.

6.1. Sustitución sensorial

Para la mejor disposición del sistema embebido es necesario estudiar el concepto de sustitución sensorial (Sección 3.2) con el fin de pensar en la manera más adecuada de hacer la retroalimentación al usuario y que el dispositivo no sea un estorbo o una incomodidad para el mismo.

Desde el principio del proyecto pensó en la hipótesis de que el sistema retroalimentara al usuario a través del dorso de la mano, mediante un estímulo vibratorio o un estímulo vibro táctil (tema que será profundizado en la Sección 6.2.2. Debido a que las personas con discapacidad visual ya están habituadas a utilizar dispositivos en la mano, como el bastón blanco, y, adicionalmente, permite que el sistema embebido esté concentrado en un lugar en específico, sin incomodar al usuario con cableado que limite su movimiento.

Para corroborar esta hipótesis es necesario indagar respecto a la fisionomía de la mano, primero pensando si el dorso es capaz de responder a estímulos vibratorios o estímulos vibro táctiles. La primera investigación fue respecto a la presión máxima que puede percibir el dorso de la mano lo que nos llevó al Capítulo 18 de *Kolski, Sascha, Mobile Robots, "Distance Feedback Travel Aid Haptic Display"* de donde se extrajo la siguiente tabla [3].

Sensing Part	Sensing Limit (g/mm ²)	Sensing Part	Sensing Limit(g/mm ²)
Apex of tongue	2	Abdominal Area	26
Dorsum of antebrachium (backside of forearm)	33	Lumber Division (pars lumbalis)	48
Front of forearm	8	Dorsal hand	12
Fingertip	3	Sura (calf)	16
Dorsum of finger	5	Planta pedis (sole)	

Tabla 2. Límite de Presión Estática Detectada en la Superficie de la Piel del Ser Humano. [3]

De donde se puede saber la presión máxima que se puede ejercer sobre el dorso de la mano, la cual es 12 g/mm². Por otro lado también se tendrá en cuenta la frecuencia a la que el dorso de la mano responder a estímulos, en este caso, cuántos toques por periodo de tiempo puede percibir en el mejor de los casos, como también la frecuencia y tiempo de funcionamiento máximo de un vibrador sobre la piel sin generar ningún daño. Estas investigaciones estarán consignadas con más detalles en la Sección 6.2, ya que están directamente asociadas con la toma de decisión del actuador que se escogerá.

6.2. Selección de componentes

Esta es una etapa importante en el proyecto, debido a que a partir de la selección de componentes se definirá aspectos importantes como la entrega de información al usuario. De su adecuada integración dependerá el correcto funcionamiento del sistema embebido *Blind Tact*.

6.2.1. Sensor

En la selección del sensor se tendrá en cuenta toda la información registrada en la sección 3.2. Con base en ese estudio se buscó el tipo de sensor con el principio de funcionamiento más adecuado (Tabla 3), es decir, que fuera el transductor más conveniente para la finalidad del proyecto y de esta forma evitar problemas que pueden presentarse por los diferentes tipos de material y forma de los objetos que estos identifican. [31]

Application vs. Technology Comparison			
Application	Not Recommended	Good	Best
Detecting transparent or translucent objects at short ranges (25 mm or less)	Ultrasonic	Photoelectric	Capacitive
Sensing transparent or translucent objects at long ranges (> 25 mm)	Capacitive	Photoelectric	Ultrasonic
Detecting objects or substance levels through non-metallic container walls	Ultrasonic	Photoelectric	Capacitive
Detecting liquid or granular material level in an open container (>25-mm sensing range required)	Capacitive	Photoelectric	Ultrasonic
Sensing small targets at long ranges	Capacitive	Ultrasonic	Photoelectric
Detecting targets at long ranges in dusty, dirty environments	Capacitive	Photoelectric	Ultrasonic
Sensing target shape details	Ultrasonic	Capacitive	Photoelectric
Detecting targets close to backgrounds	Ultrasonic	Capacitive	Photoelectric

Tabla 3. Cuadro comparativo Aplicación vs. Tecnología [31]

Como se puede ver en la tabla anterior, el sensor ultrasónico nos ofrece un buen balance dentro de las posibles aplicaciones, en comparación con las demás tecnologías, por lo que se decide utilizar a un transductor de este tipo para que el sistema embebido *Blind Tact* realice la adquisición de datos. [31]

Por lo anterior, se empezará a buscar cuál es el sensor ultrasónico más adecuado, teniendo en cuenta las características del sistema embebido y las necesidades del usuario, es decir, que ayude a cumplir con los objetivos del proyecto y que brinde la mejor forma de utilización al usuario, para que el uso del dispositivo sea lo más amigable posible con la persona que utiliza el dispositivo.

Se pensó en utilizar un sensor con emisor y receptor en el mismo empaque y que adicionalmente tuviera la capacidad de medir desde una distancia corta; desde alrededor de 15 a 30 cm hasta al menos 200 cm; que se comunicara vía *UART*; que tuviera un bajo consumo y que contara con un tamaño y peso moderado; que fuera fácil de conseguir en Colombia o que su importación fuera relativamente fácil.

De aquí que se haya tomado la decisión de recurrir a *Sparkfun*¹, una tienda en línea que ofrece distintos productos, donde se encontró la marca de sensores Maxbotix, la que ofrece emisor y

¹ *Sparkfun*, tienda de electrónica en línea.

receptor en el mismo dispositivo, un tamaño y peso moderado, además de tener un amplio número de posibilidades que se ajustan a cada tipo de aplicación dependiendo de las necesidades.

En la *Tabla 4* se puede ver un cuadro comparativo de los diferentes sensores ultrasónicos que esta marca ofrece.

	LV-MaxSonar-EZ 	XL-MaxSonar-EZ 	XL-MaxSonar-AE 	XL-MaxSonar-WR 	XL-MaxSonar-WRA 
Easy to use Interface	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Trigger or Free-run Operation	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Stable Range Data	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Serial Output	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Analog Voltage Range Output	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Pulse Width Output	Yes	Yes	No	Yes	No
Real-time Analog Envelope Output of the Acoustic Waveform	No	No	Yes	No	Yes
Outdoor Use (IP67 Rated)	No <small>(can be mounted in a way that protects the sensor from exposure to the elements.)</small>	No <small>(can be mounted in a way that protects the sensor from exposure to the elements.)</small>	No <small>(can be mounted in a way that protects the sensor from exposure to the elements.)</small>	Yes	Yes
Recommended for Industrial Use	Some	Yes	Yes	Yes	Yes
Recommended for Hobby Use	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Automatic Calibration to Compensate for Changes in Temperature, Voltage, Humidity and Noise.	On power up only	Yes	Yes	Yes	Yes
Has noise canceling	Some	Yes	Yes	Yes	Yes
Resolution	1 inch	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm
Maximum Rate Readings are taken	20Hz	10Hz	10Hz	10Hz	10Hz
3.3V Operation, Average Current Draw	2mA	2.1mA	2.1mA	2.1mA	2.1mA
5V Operation, Average Current Draw	3mA	3.4mA	3.4mA	3.4mA	3.4mA
Acoustic Frequency	42kHz	42kHz	42kHz	42kHz	42kHz
Minimum Object Detection Distance ⁽¹⁾	0"	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm
Minimum Reported Distance ⁽¹⁾	6 inches	20 cm	20 cm	25 cm	25 cm
Maximum Range	254 inches (6.45 meters)	765 cm ⁽²⁾ 1068cm (25.1 feet)	765 cm ⁽²⁾ 1068cm (25.1 feet)	765 cm ⁽²⁾ 1068cm (25.1 feet)	765 cm ⁽²⁾ 1068cm (25.1 feet)

Tabla 4. Comparativo sensores

En la gráfica anterior se observan las especificaciones de cada sensor de este tipo que la marca ofrece, que llevan a seleccionar el sensor XL-MaxSonar- EZMB121 que, a pesar de tener un rango mucho más amplio (desde 20 cm hasta 765 cm), se limita por programación. El transductor cumple con el resto de las especificaciones para este proyecto, como el consumo de corriente, que es de 3,4 mA, la resolución que es de 1 cm. En la *Figura 6* se puede apreciar el sensor que se seleccionó. [18]



Figura 6. Sensor ultrasónico XL-MaxSonar- EZMB121

En la Tabla 5 se puede observar la descripción de cada pin con el que el sensor cuenta.

PIN NUMBER	PIN NAME	CHARACTERISTICS
1	BW	Leave open (or high) for serial output on the Pin 5 output. When Pin 1 is held low the Pin 5 output sends a pulse (instead of serial data), suitable for low noise chaining.
2	PW	For the MB1200 (EZ) sensor series, this pin outputs a pulse width representation of range. To calculate distance, use the scale factor of 58uS per cm.
3	AN	For the 7.6 meter sensors (all sensors except for MB1260, MB1261, MB1360, and MB1361), this pin outputs analog voltage with a scaling factor of ($V_{cc}/1024$) per cm. A supply of 5V yields ~4.9mV/cm., and 3.3V yields ~3.2mV/cm. Hardware limits the maximum reported range on this output to ~700cm at 5V and ~600cm at 3.3V. The output is buffered and corresponds to the most recent range data
4	RX	This pin is internally pulled high. The XL-MaxSonar-EZ sensors will continually measure range and output if the pin is left unconnected or held high. If held low the will stop ranging. Bring high 20uS or more for range reading.
5	TX	When Pin 1 is open or held high, the Pin 5 output delivers asynchronous serial with an RS232 format, except voltages are 0-V _{cc} . The output is an ASCII capital "R", followed by three ASCII character digits representing the range in centimeters up to a maximum of 765, followed by a carriage return (ASCII 13). The baud rate is 9600, 8 bits, no parity, with one stop bit. Although the voltage of 0-V _{cc} is outside the RS232 standard, most RS232 devices have sufficient margin to read 0-V _{cc} serial data. If standard voltage level RS232 is desired, invert, and connect an RS232 converter such as a MAX232.
6	V _{cc}	Operates on 3.3V - 5V. The average (and peak) current draw for 3.3V operation is 2.1mA (50mA peak) and at 5V operation is 3.4mA (100mA peak) respectively. Peak current is used during sonar pulse transmit.
7	GND	Return for the DC power supply. GND (& V ₊) must be ripple and noise free for best operation.

Tabla 5. Descripción de los pines del sensor. [18]

6.2.2. Actuador

La buena selección del actuador es fundamental en el proyecto gracias a su importancia al ser quien entrega la información al usuario. Adicionalmente, el actuador tendrá que tener ciertas características para facilitar su disposición sobre el dorso de la mano y para que no cause molestia.

Desde el inicio se pensó en entregar la información en forma de estímulos táctiles, vibro-táctiles o auditivos, sin embargo, los estímulos auditivos fueron descartados debido a que estos excluyen a la población sordo-ciega. De este punto en adelante se empieza la búsqueda de una solución a través de un actuador que nos permita entregar la información basándose en el concepto de sustitución sensorial (Sección 3.2), siempre pensando en la mejor disposición de los componentes en el sistema embebido para el beneficio del usuario final, por lo que el transductor tendría que ser ligero y pequeño.

A raíz de lo anterior, se redujeron las soluciones a dos: un vibrador o un servomotor. Un vibrador entregaría la información vibrando en un tiempo definido con una frecuencia proporcional a la distancia. Un servomotor daría toques sobre la piel a una frecuencia proporcional a la distancia.

El primer actuador que se entró a estudiar fue el vibrador, ya que este es de un tamaño y peso menor que un servomotor. De aquí en adelante se empezó a investigar respecto a la interacción de un vibrador con el cuerpo humano. De la investigación se obtuvo que el vibrador es un dispositivo inadecuado para esta aplicación en específico, debido a que puede generar daño en el tejido nervioso; esto es demostrado en estudios como “*Nerve injury induced by vibration: prevention of the effect of a conditioning lesion by D600, a Ca21 channel blocker*”, en el cual le es puesto un vibrador, con una frecuencia de 80 Hz en la pierna a una rata de laboratorio, es puesto en funcionamiento alrededor de 5 horas diarias por un periodo de 5 días, y se evidencia un daño en el nervio ciático del animal[33].

También se puede presentar el Síndrome de Brazo – Mano por Vibración o HAVS por sus siglas en inglés, el cual consiste en generar mal funcionamiento de dedos, manos y brazos a raíz de la utilización de herramientas que vibran [34].

El vibrador quedó descartado y de este punto en adelante se empieza a realizar una búsqueda de un servomotor que se ajuste a las necesidades del sistema embebido, es decir, que no tenga mucho peso, que tenga una respuesta rápida y que su tamaño sea mínimo para la mejor disposición del sistema embebido.

Aparte de lo anterior, se debía tener en cuenta la presión ejercida por este y la frecuencia máxima con la que tocara el dorso de la mano sin afectar al usuario. Fue entonces necesario profundizar en el tema para conocer estos valores y asegurar que el sistema embebido no generara molestia o daño.

La selección del servo motor se basa en las especificaciones mostradas en la Tabla 1 y en el cumplimiento de las del proyecto. De aquí que se haya hecho la selección del Micro Servo 9g, el cual cuenta con un peso de 9 gr, una polarización de 5 v y una respuesta de 0,1 segundos por cada 60 grados de movimiento, lo cual se ajusta a las especificaciones de la Tabla 1, en aspectos como por ejemplo, el número de toques sucesivos que el dorso de la mano es capaz de percibir que es uno cada 30 ms. [29, 35]

6.2.3. Demás componentes

La elección de los demás componentes se realizó en función de los componentes escogidos en las dos secciones inmediatamente anteriores, lo que quiere decir que fueron escogidos pensando en el desarrollo más adecuado del sistema embebido que permitiera aprovechar las ventajas tanto del servomotor como del sensor escogido.

6.2.3.1. Micro controlador

El micro controlador se escogió pensando en poderle dar diversidad al proyecto y que adicionalmente este permitiera modificaciones tanto de *Software* como de *Hardware*. Teniendo en cuenta aspectos como que el sensor escogido es capaz de entregar tres tipos de señales diferentes, como se menciona en la sección 6.2.1, que el actuador escogido se maneja a través de una *PWM*, el

cerebro para el *Blind Tact* tendrá que darnos la posibilidad de recibir los datos del sensor y traducirlos de la mejor manera.

Por esto se escoge el *ATMega328P*, el cual es un micro controlador CMOS de 8bits de alto rendimiento, que está basado en un tipo de arquitectura AVR, la cual es capaz de ejecutar instrucciones de gran alcance en un solo ciclo de reloj. Es conveniente para el proyecto debido a la frecuencia de muestreo propuesta en los objetivos.

Por otra parte, este cerebro es de fácil programación; se puede manejar con las instrucciones propias de Arduino² o programarlo mediante sus registros. Además cuenta con un circuito interno de Power – On Reset, donde es eliminada la necesidad de componentes externos y llega a 32 pines que pueden ser utilizados como líneas de entrada o salida de propósito general.

6.2.3.2. Batería

Este componente se encontrará gracias al cálculo del consumo de los componentes y las investigaciones realizadas, las cuales sugieren un dispositivo que proporcione al menos 4 horas de funcionamiento continuo. [1, 32] Es necesario consultar el consumo máximo de cada componente en su hoja de especificaciones y, en el caso del servomotor, las corrientes máximas registradas en laboratorio, para así poder conocer el consumo del sistema embebido y poder realizar el cálculo de la pila necesaria para cumplir con las especificaciones propuestas.

En la siguiente tabla se puede ver el consumo máximo de cada componente. Cabe mencionar que dos componentes no son tenidos en cuenta para este cálculo debido a que son componentes que solo están en funcionamiento cuando el dispositivo se encuentra conectado vía USB y en este momento el sistema embebido no depende de la batería.

Componente	Consumo de Corriente mA
REG104 – 5	1,7
Sensor XL – MaxSonar EZ MB121	50
Micro Servo 9g	40
ATMega328p	17

Tabla 6. Consumo componentes discriminado.

Sumando todas las corrientes que consumen los componentes tenemos:

$$\text{Consumo Blind Tact} = 108,7 \text{ mA}$$

Conociendo este dato y sabiendo que la recomendación por parte del Señor Salazar de SURCOE, es de por lo menos 4 horas de funcionamiento continuo del dispositivo, se empezaron a ver las posibles soluciones para el tipo de batería que mejor se acomodara al proyecto. Por lo que se ven los

² Arduino es una plataforma de *Hardware* libre, basado en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo propio.

diferentes tipos de tecnologías y las ventajas y desventajas de cada una de estas. En la tabla 7 se puede ver un cuadro comparativo entre estas.

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10 000	4-8h	10 %
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %

Tabla 7. Cuadro comparativo tipos de baterías.

Con base en la tabla anterior se decide recurrir a una batería de Li – Po o Polímero de litio esto debido a que es la que mejor voltaje nominal nos proporciona, además de tener un buen número de cargas y un tiempo corto de carga.

Sabiendo que era necesario realizar la importación del sensor vía *Sparkfun*, se recurre a esta misma tienda en línea para la búsqueda y adquisición de este componente. Dentro de las opciones que esta tienda ofrece hay baterías de 1, 2 o 3 celdas; para este proyecto en específico, se recurrió a una batería de una sola celda, es decir, con un voltaje o tensión nominal de 3,7 V, donde ahora tendríamos que entrar a mirar la capacidad de cada batería en mAh para así conocer cual batería no proporciona las 4 horas o más.

Dentro de estas, hay baterías con diferentes capacidades: desde 40 hasta 2000 mAh. Pensando en cumplir con las 4 horas de funcionamiento continuo, se hace una regla de tres, en donde 108,7 mAh es el consumo del *Blind Tact*, y suponiendo que este equivaliera a una hora de funcionamiento, se calcula la capacidad para cuatro horas:

$$\text{Capacidad Batería Blind Tact} = \frac{4 \text{ h} * 108,7 \text{ mAh}}{1 \text{ h}}$$

$$\text{Capacidad Batería Blind Tact} = 434,8 \text{ mAh}$$

En el momento de la entrevista con el señor Salazar se pregunta el tiempo de operación, pensando en el tiempo en el que se puede llegar a utilizar el bastón: cuatro horas. Como el sistema embebido está pensado para que también pueda ayudar en momentos en el que el bastón no puede utilizarse se

piensa en una batería con una capacidad superior a la calculada, con el fin de que el sistema *Blind Tact* tenga cabida momentos en el que el bastón no. La capacidad de la pila que se escogió es de 860 [mAh], calculando con esta el tiempo de operación del dispositivo se obtiene:

$$\text{Tiempo de Operación con Batería Seleccionada} = \frac{860 \text{ mAh} * 1 \text{ h}}{108,7 \text{ mAh}}$$

$$\text{Tiempo de Operación con Batería Seleccionada} = 7,9911 \text{ h}$$

Con esta batería se puede ofrecer una autonomía mejor de las que fueron especificadas y no genera un costo significativo adicional en el proyecto.

6.3. Disposición del sensor

La decisión de cómo disponer del sensor sobre el dorso de la mano será tomada pensando en que el dispositivo tiene que ser lo más cómodo posible para el usuario, es decir, que no tuviera el sensor retirado del actuador para que así no existieran cables que incomodaran o molestaran al usuario.

Pero disponer tanto del sensor como del actuador sobre el dorso de la mano, su uso fue evaluado por personas con discapacidad visual, que ya están habituadas a utilizar un dispositivo con su mano e incluso a realizar un movimiento oscilante con la misma para así conocer los obstáculos (Figura 7), un movimiento que sería muy similar al que se tendría que realizar al utilizar el *Blind Tact*, con la diferencia que el movimiento realizado con el *Blind Tact* puede variar en altura, lo que permite encontrar elementos por encima de las rodillas, cosa que el bastón no permite.

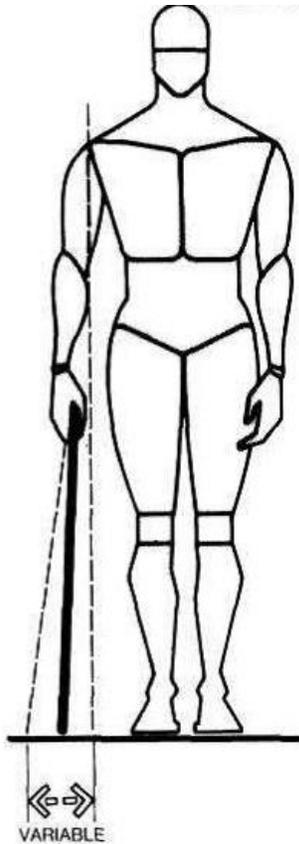


Figura 7. Movimiento realizado con el bastón.

6.4. Software

El programa que rige el *Blind Tact* será diseñado para que al recibir un dato proveniente del sensor, el cual es el componente que se encarga de realizar la adquisición de datos, el micro controlador ajuste la información de manera que entregue el dato al actuador y pueda hacer la retroalimentación al usuario.

Para desarrollar el programa lo primero que se debe tener en cuenta es la forma en la que se van a recibir los datos provenientes del sensor de proximidad que serán entregados al micro controlador y cada cuánto este va a tener un dato nuevo disponible. El sensor que se escogió cuenta con tres salidas diferentes: una analógica, una digital y un ancho de pulso, en donde el *Datasheet*³ del sensor establece las condiciones para cada caso, como se puede ver en la Tabla 5.

Luego de conocer las diferentes opciones y de acuerdo con las hojas de especificaciones del sensor, se opta por tomar la salida en ancho de pulso o PW, debido a que dentro del *Datasheet*, el fabricante realiza la sugerencia de que para obtener los datos más precisos y confiables se haga uso de la salida PW cuando el sensor se encuentra en el modo *Free Running* (Las hojas de especificaciones de todos los componentes se encuentran como anexos).

³ *Datasheet* u hoja de especificaciones

Cuando los datos se están recibiendo a través del pin PW se conoce que el ancho del pulso es directamente proporcional a la distancia que está midiendo el sensor, esto implica que la distancia va a depender del ancho del pulso, para este caso un ancho de pulso de 58 μ s corresponde a 1 cm.

Conociendo el tipo de señal que se obtiene del sensor, se procede a estudiar la forma de comunicar el sensor con el micro controlador, es decir, los diferentes protocolos de comunicación utilizados por el micro controlador.

Como se utiliza una programación a través del lenguaje de programación propio de Arduino, el tipo de comunicación que está implícita es vía UART, por lo que era necesario calcular el *Baud Rate*, con el cual ajustamos la frecuencia del sensor con la frecuencia del micro controlador y así permitir que se comuniquen. Para calcular este parámetro se recurre a la fórmula:

$$Baud\ Rate = \frac{f_{osc}}{4 * (UBRR + 1)}$$

El cálculo del *Baud Rate* lo podemos ver a continuación en la siguiente tabla (Tabla 8)

BAUD	Fosc	PS	FOS	UBRR
9600	16000000	4	4000000	103,166667

Tabla 8. Cálculo del Baud Rate

Conociendo esto ya se está en la capacidad de recibir datos provenientes del sensor. En la Figura 8 se puede ver la señal que el sensor le está entregando al micro controlador. Como se ha dicho anteriormente, el ancho de este pulso varía dependiendo de la distancia, mientras mantiene una amplitud constante.

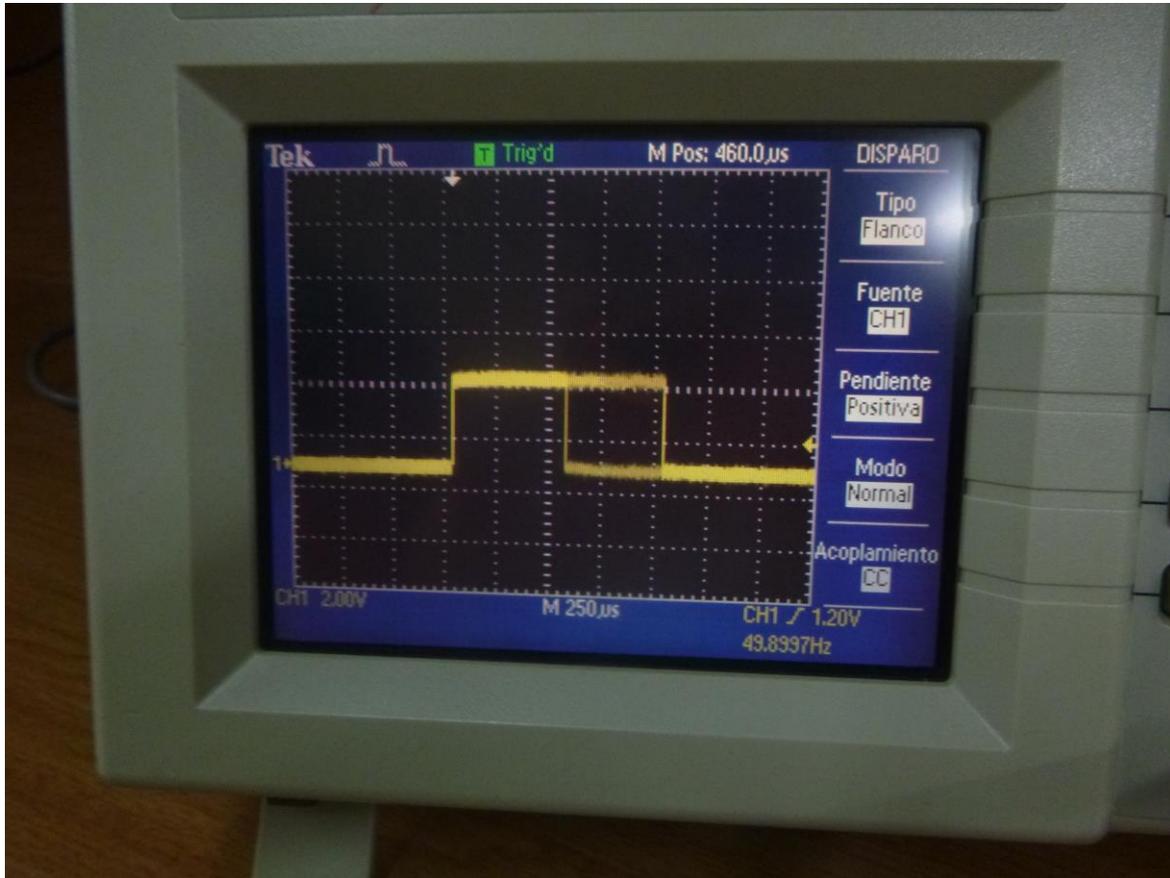


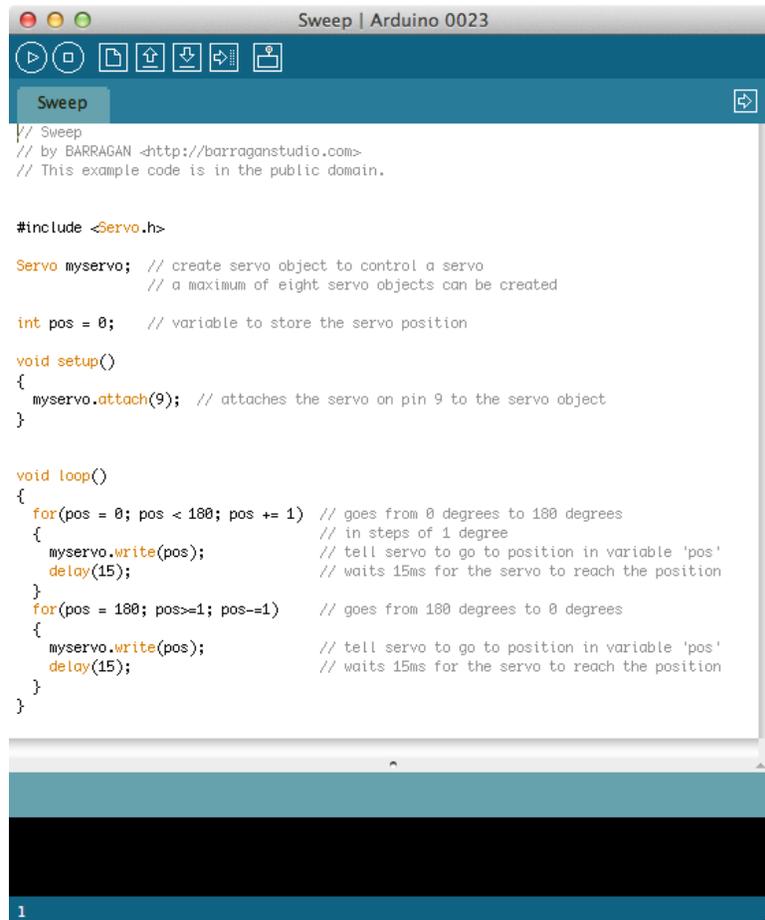
Figura 8. Señal proveniente del sensor.

Ya en este punto el micro controlador ha adquirido el dato por lo que es necesario que este sea ajustado para conocerlo en cm, entonces al estar recibiendo un ancho de pulso en μs y conociendo del *Datasheet* del sensor que cada $58 \mu s$ representa un cm se recurre a la siguiente fórmula para observar el valor de la distancia en dicha unidad

$$\text{Dato en centímetros} = \frac{\text{Ancho del pulso recibido}}{58 \mu s}$$

Sabiendo que el micro controlador ya está en capacidad de recibir los datos resultantes del sensor de proximidad, se entra a realizar el análisis de cómo se tiene que proceder para que este dato sea ajustado para que el servomotor ejecute la acción.

Primero era necesario saber cómo se controlaría el servomotor, para lo cual se recurrió a una librería llamada Servo.h, la cual está diseñada para controlar un servo motor a través del concepto de PWM, es decir, modular un ancho de pulso, donde al haber relacionado un pin de I/O con el servomotor, a este se le puedan manejar su posición en grados y el tiempo de respuesta. En la siguiente figura se puede ver el programa con el que comúnmente son controlados los servo motores a través de Arduino.



```
// Sweep
// by BARRAGAN -<http://barraganstudio.com>
// This example code is in the public domain.

#include <Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo
               // a maximum of eight servo objects can be created

int pos = 0;    // variable to store the servo position

void setup()
{
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop()
{
  for(pos = 0; pos < 180; pos += 1) // goes from 0 degrees to 180 degrees
  {
    myservo.write(pos);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15);                   // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
  for(pos = 180; pos>=1; pos-=1) // goes from 180 degrees to 0 degrees
  {
    myservo.write(pos);           // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15);                   // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
}
```

Figura 9. Programa para controlar servo motores en Arduino.

Como se puede ver en la imagen, el servo es controlado en posición a través de `write()` y con `delay()` maneja el tiempo que este tiene que esperar para volver a su posición inicial.

Ya conociendo la manera en la que se manejan los servomotores, empieza el desarrollo del programa que registrará el sistema embebido, donde al tener un ancho de pulso proveniente del sensor, este es traducido a un dato en centímetros para que luego se realice un cálculo para conocer cómo tendrá que actuar el servomotor.

En este tramo del proyecto se empezó por mirar qué era necesario controlar del servomotor en esta aplicación, si posición y tiempo. A partir de las especificaciones se logra conocer que las posiciones en las que el servomotor deberá variar son posiciones fijas, por cuanto realiza un recorrido entre dos puntos fijos repetidamente, sin embargo este movimiento varía en velocidad, es decir, lo que cambia es el tiempo que el servomotor gasta en regresar a su posición, por lo que tendremos que manejar el `delay()` y mediante este se relaciona la distancia directamente. Así podemos manejar el servomotor dependiendo de la distancia. En la Figura 10 podemos ver una representación de la señal que rige el funcionamiento del servomotor en el sistema embebido *Blind Tact*.

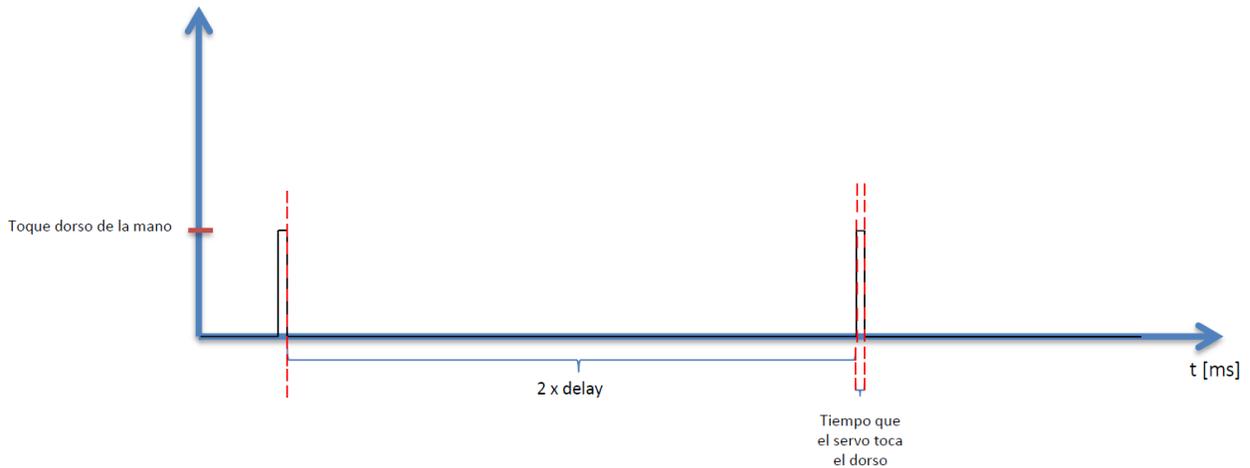


Figura 10. Señal que representa el funcionamiento del servomotor en el Blind Tact.

Como se puede ver en la Figura 10, el tiempo que el servomotor toque el dorso de la mano siempre va a ser constante, lo que va a variar es el tiempo en el que el servo motor va a cambiar de la posición A a la posición B (Figura 2). Este tiempo es dos veces el *delay* debido a que el servomotor, para dar dos toques seguidos, tiene que ir de la posición B a la posición A y luego regresar a la posición B.

Como con el *delay* vamos a manejar la frecuencia con la que el servomotor tocará el dorso de la mano, es necesario obtener de las hojas de especificación del servomotor su tiempo de respuesta y así poder definir un *delay* mínimo para que sea calculado el que representará la distancia del dato en centímetros, que se está obteniendo en ese momento a través del sensor.

Del *Datasheet* del actuador se pudo conocer que este responde a 0,1 segundos - trayectos de 60 grados; sin embargo, en el caso del sistema embebido *Blind Tact*, el movimiento que el servo motor tiene que realizar es no mayor a 25 grados por cuanto al realizar una regla de tres obtendremos el tiempo de respuestas para este desplazamiento y así poder definir el *delay* mínimo para el cálculo.

$$\text{Tiempo de respuesta del servo para } 25^\circ = \frac{0,1 [s] * 25^\circ}{60^\circ}$$

$$\text{Tiempo de respuesta del servo para } 25^\circ = 0,041 \text{ s}$$

Este tiempo va a ser el mismo *delay* mínimo, por lo que conociendo este dato, sabiendo que ese *delay* va a representar la distancia mas cercana a la que se encuentre un objeto y conociendo la distancia en ese momento, se está en la capacidad de calcular un *delay* característico para que sea realizada la modulación por ancho de pulso y así poder manejar el servomotor. La fórmula matemática que describe lo anterior es:

$$\text{DelayDato} = \frac{\text{DelayMinimo} * \text{Dato en cm}}{30 \text{ cm}}$$

Con esta ecuación estamos en la capacidad de encontrar datos dentro del rango establecido, es decir entre 30 cm y 180 cm, ya que el programa se limita para que solo los datos dentro de este rango

sean aplicados al algoritmo. En la Figura 11 se puede ver la programación de lo descrito anteriormente (El programa que maneja el sistema embebido se encuentra en los anexos, así como la librería Servo.h).

```
if( (30 <= cm) && (cm < 180)){  
    DelayServo = (cm * DelayMin) / 30;  
    Serial.print(round(DelayServo));  
    Serial.print("DelayServo:");  
    Serial.println();  
    for(int j = 0; j< 2; j++){  
        servomotor.write(0);  
        delay(round(DelayServo));  
        servomotor.write(60);  
        delay(round(DelayServo));  
    }  
}
```

Figura 11. Programa Blind Tact.

6.5. PCB

Para el desarrollo del circuito impreso o PCB⁴ lo primero que se tenía que realizar era considerar las recomendaciones de los fabricantes de los componentes, como proximidad de componentes para estabilidad en el comportamiento del circuito o condensadores de desacople para estos. Como segundo paso se tuvo en cuenta la corriente que circularía por los cominos del circuito impreso, para lo cual se recurrió a la siguiente gráfica:

⁴ Printed Circuit Board

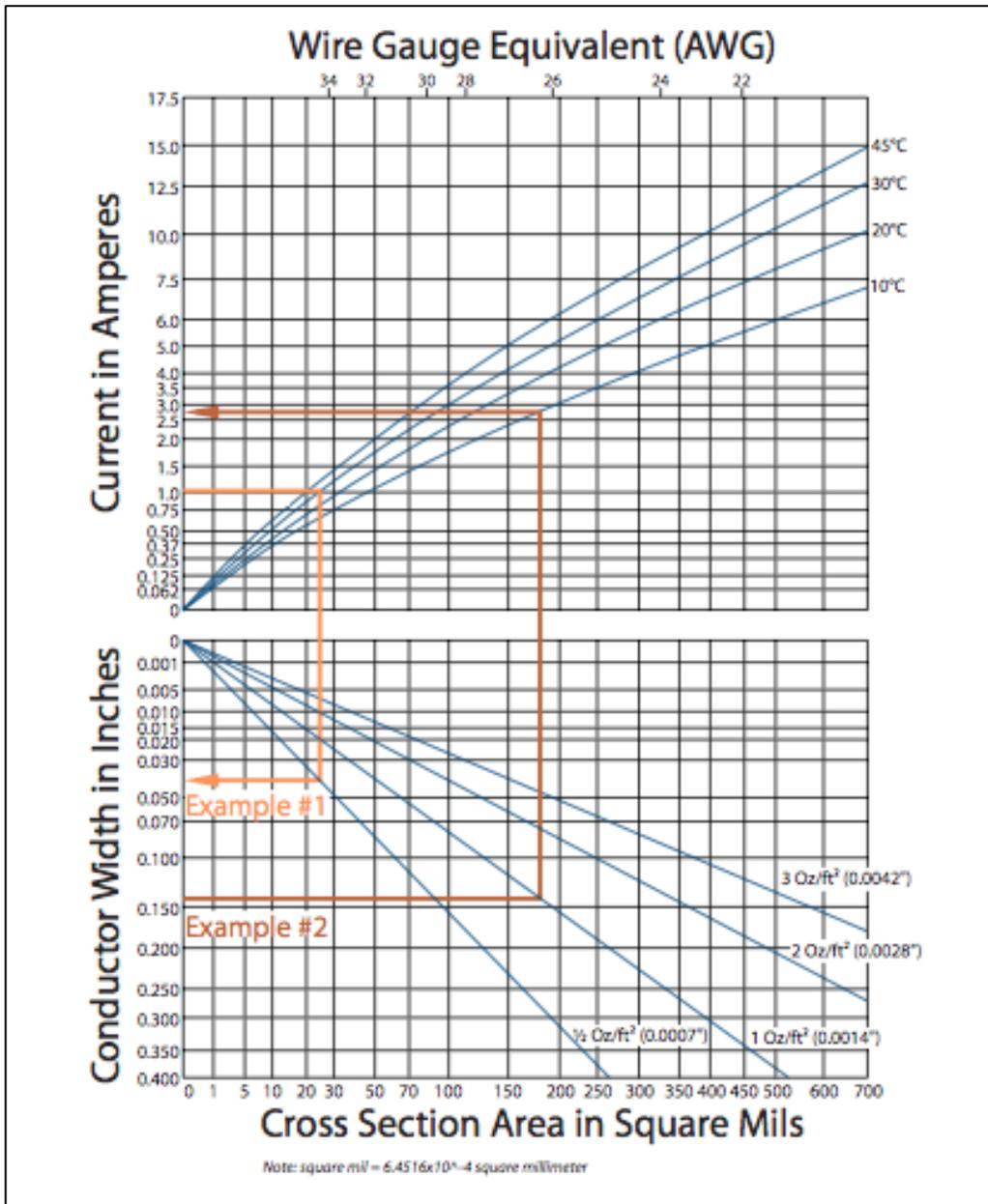


Figura 12. Gráfico para ancho de caminos [36]

A partir de la figura anterior se puede extraer el ancho de la pista para los parámetros de este circuito. Es así como con una corriente máxima de 50 mA, con una elevación de temperatura de 10 °C y conociendo que el fabricante del circuito impreso maneja un grosor de 2 Oz/ft², se puede concluir que el grosor de los caminos para el PCB del *Blind Tact* es de 0,010 pulgadas o lo que es igual a 0.02 cm, pero debido a que el fabricante maneja un ancho mínimo de 0.03048 cm esto será lo que se manejará en el diseño del circuito impreso.

Ya conociendo el ancho de las pistas que se va a manejar, se procede a montar el circuito esquemático de sistema embebido *Blind Tact* como se ve en la figura 13

Teniendo el circuito esquemático listo se procede a generar el circuito impreso, el cual fue diseñado según la disposición de los componentes y que este también ayudara a que el sistema embebido fuera más amigable y no se presentaran inconvenientes tales como cables o componentes que causaran molestia o fueran estorbosos y no permitieran un libre movimiento. Este circuito impreso cuenta con componentes de montaje superficial lo cual ayudó a que no fuera de un gran tamaño. La herramienta de diseño con la que se realizó el boceto el circuito impreso final es *EAGLE CadSoft*⁵ y en las siguientes figuras podemos ver los archivos Gerber generados de cada una de sus caras.

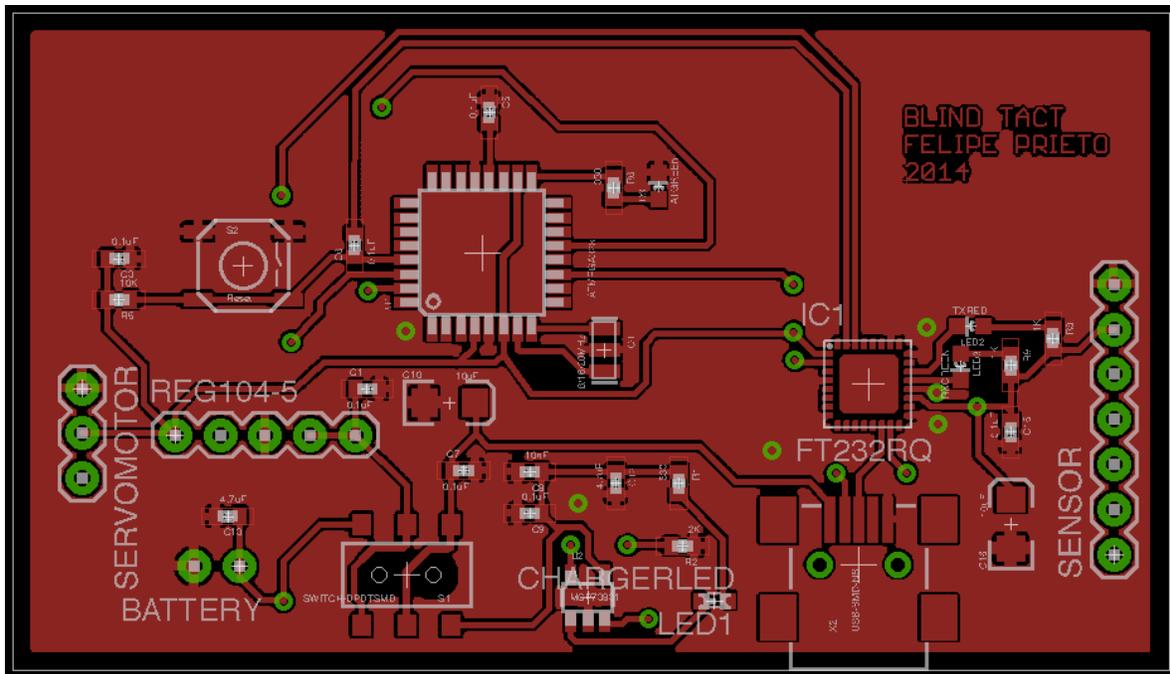


Figura 14. Vista superior diseño PCB Blind Tact.

⁵ Software para el diseño de circuitos impresos

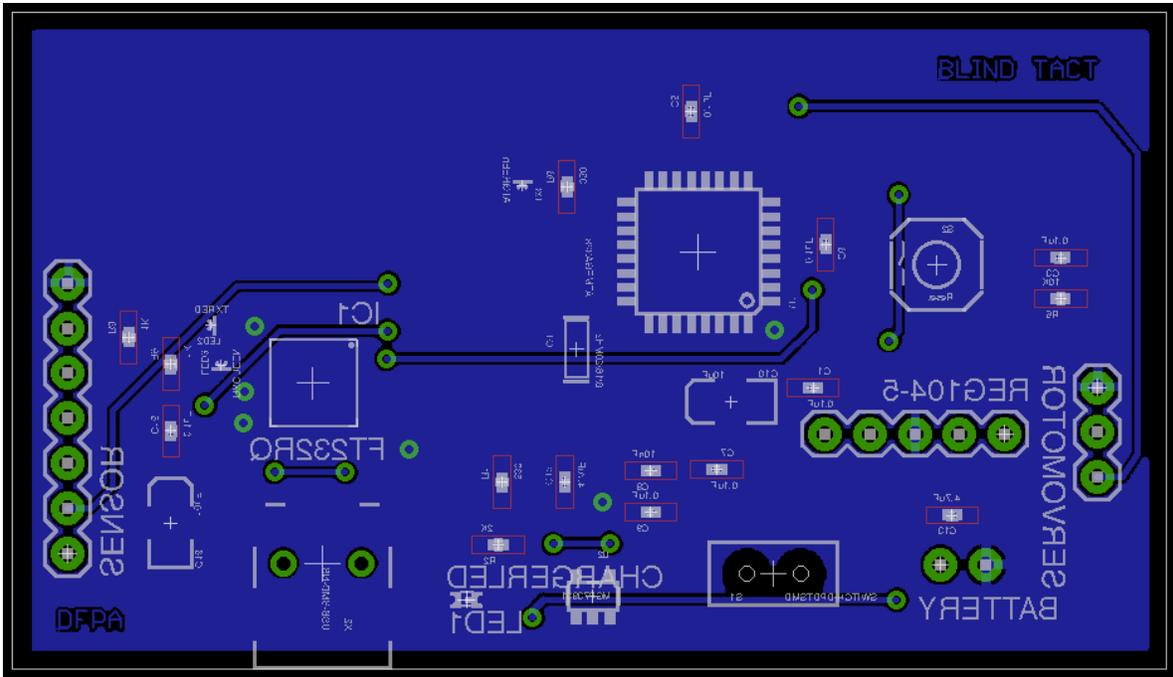


Figura 15. Vista inferior diseño PCB Blind Tact.

En las siguientes figuras se puede apreciar el circuito impreso final que se logró después de la producción

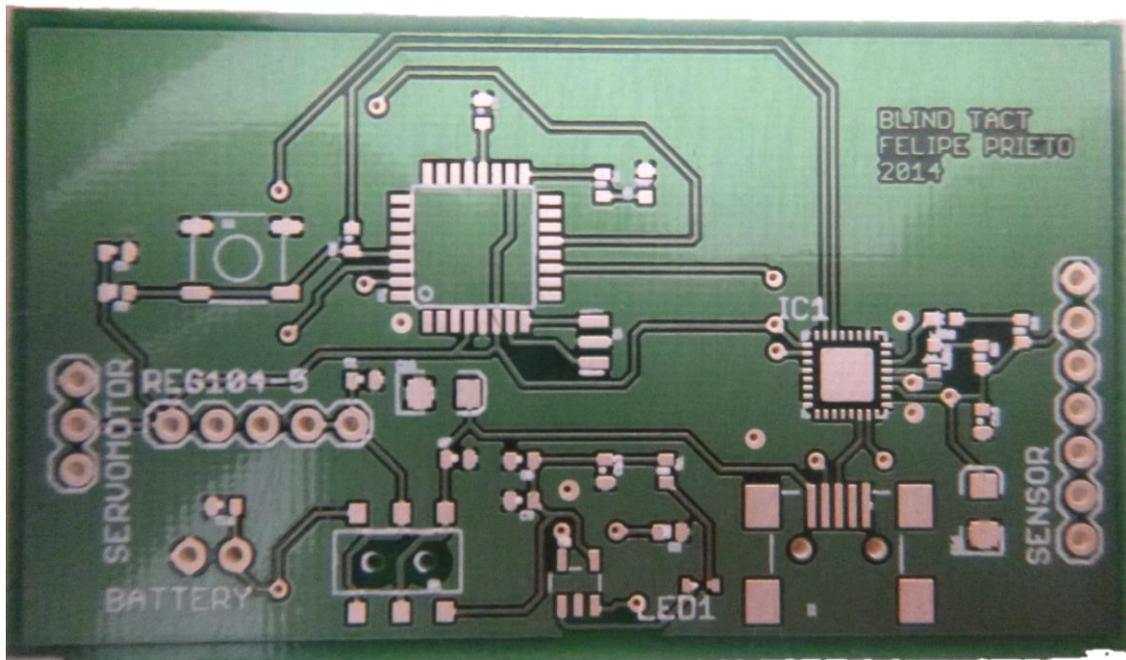


Figura 16. Vista superior circuito final para montar

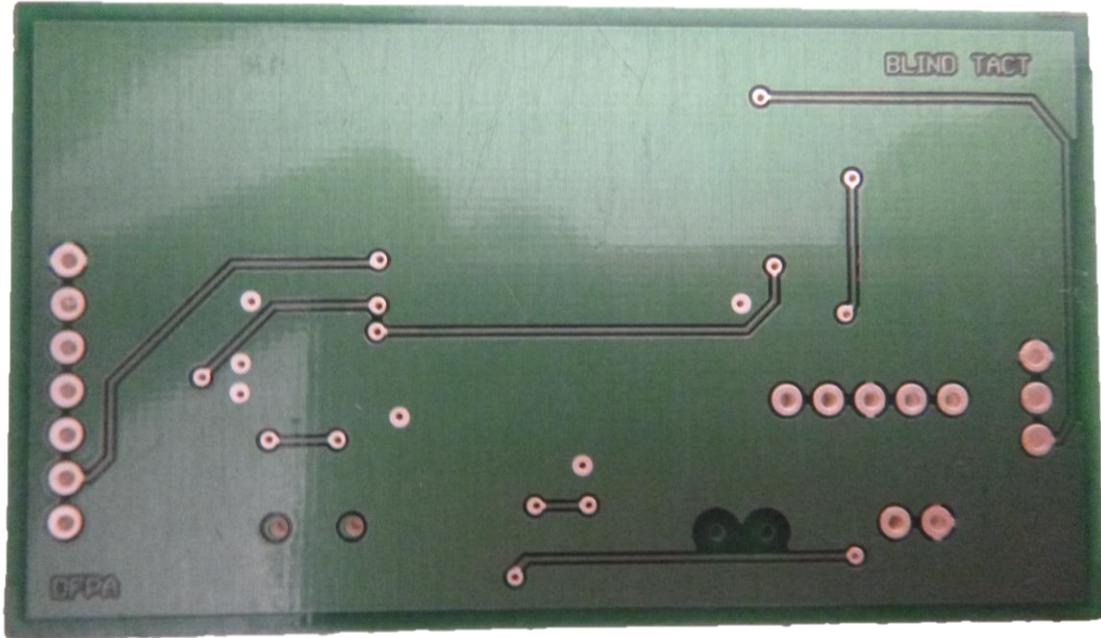


Figura 17. Vista inferior circuito final para montar

Ya con el circuito impreso listo se procede a soldar los componentes que lo conforman. Se tiene que ver la forma de ajustar este circuito a la plataforma de soporte por lo que, para facilitar la conexión de componentes, como el servomotor, la batería y el sensor, se recurre a conectores que contribuyen al montaje de este circuito impreso. Además, dan la opción de, si es necesario, desmontar el circuito del sistema embebido. En la Figura 18 se puede ver una imagen del circuito impreso con sus componentes.

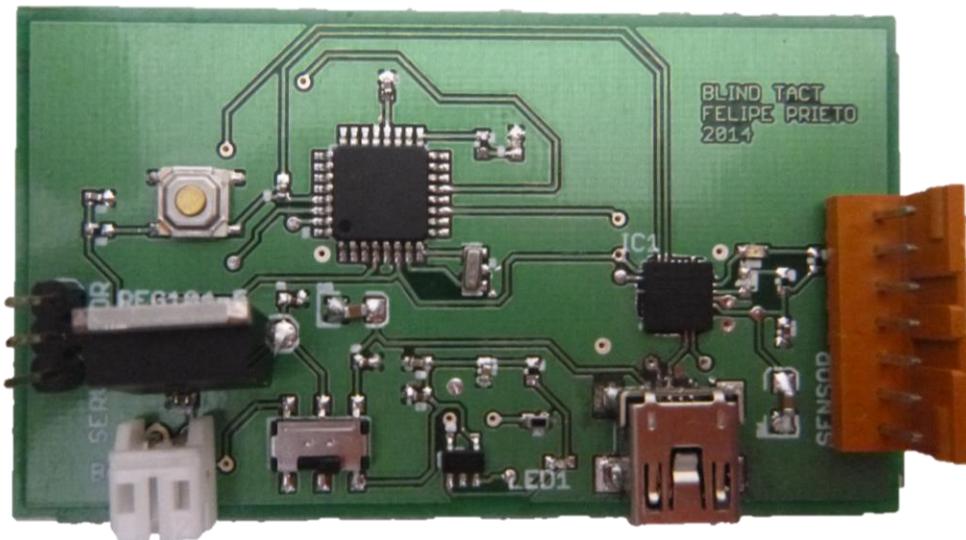


Figura 18. PCB final

6.6. Diseño del guante para el acople sistema embebido con el dorso de la mano

El guante es el encargado de acoplar la plataforma que contacta al sistema embebido con el dorso de la mano. En este punto fue necesario realizar una investigación sobre los diferentes tamaños del dorso de la mano, el cual varía dependiendo del sexo y contextura corporal.

Lo que quiere decir que fue necesario estudiar la variación de tamaño dependiendo de la persona, por lo que era preciso diseñar un guante que fuera versátil, es decir, que permitiera un buen ajuste al dorso de la mano de cualquier persona.

De la investigación realizada se extrajo la *Figura 19* en donde vemos los diferentes tamaños del dorso de la mano según talla.

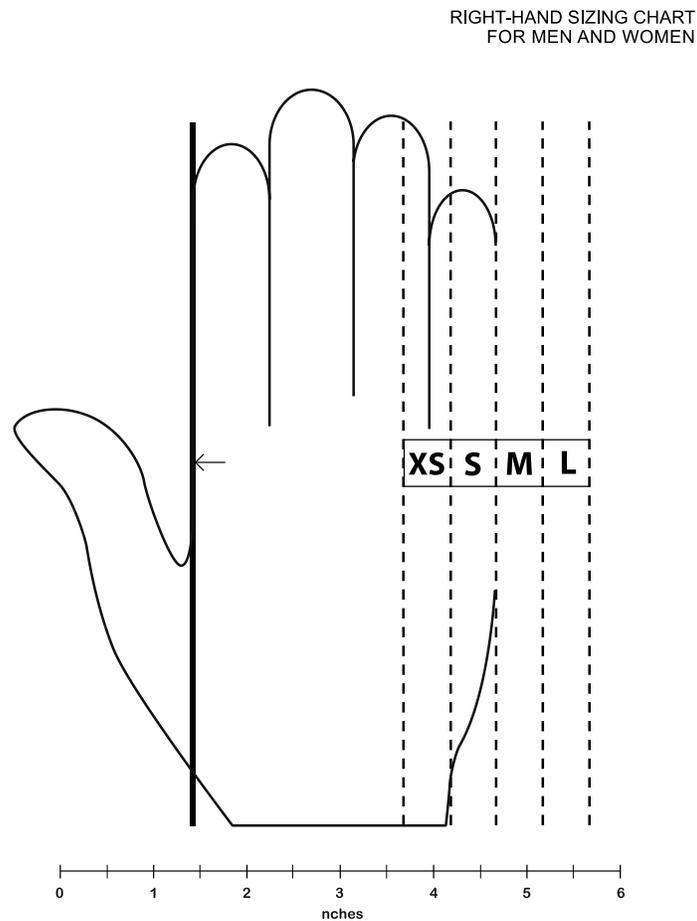


Figura 19. Tamaños dorso de la mano [37]

Con base en los diferentes tamaños de la mano, se desarrolló primer prototipo del guante hecho en foamy para probar que se ajustara bien independientemente del tamaño del dorso. En la siguiente imagen se puede ver este primer prototipo.



Figura 20. Primer prototipo del guante

Luego de realizar algunas pruebas y verificar que el guante se ajusta de forma adecuada a diferentes tamaños de mano, se procedió a confeccionarlo en un material más resistente, de mayor durabilidad y más cómodo para que fuera lo más amigable con el usuario. El material que se escogió fue cuero, ya que nos brinda las características descritas anteriormente. En la *Figura 21* puede verse el diseño final del guante, con unas ranuras que permiten que los servomotores entreguen la información al usuario. En la siguiente imagen se puede ver cómo se ajusta el guante a una mano de tamaño medio.



Figura 21. Prototipo final del guante.



Figura 22. Guante puesto

6.7. Diseño del sistema de soporte del sistema embebido

Esta sección se refiere a cómo y sobre qué se dispondrían los componentes que conforman el sistema embebido. Para esto fue necesario considerar cómo estarían dispuestos los componentes y cómo iría este sistema de soporte acoplado con guante, que es el encargado de ajustar el sistema embebido al dorso de la mano

La disposición de los componentes del sistema embebido comenzó con el estudio realizado en la sección 6.3. A partir de allí, se idea la mejor manera de disponer el guante sobre el dorso de la mano, lo que llevó a poner el sensor en la parte del dorso de la mano más cercana a los nudillos, con el fin de garantizar que ninguna parte de la misma mano pudiese interferir con el patrón del haz del sensor como se ve en la figura 23.

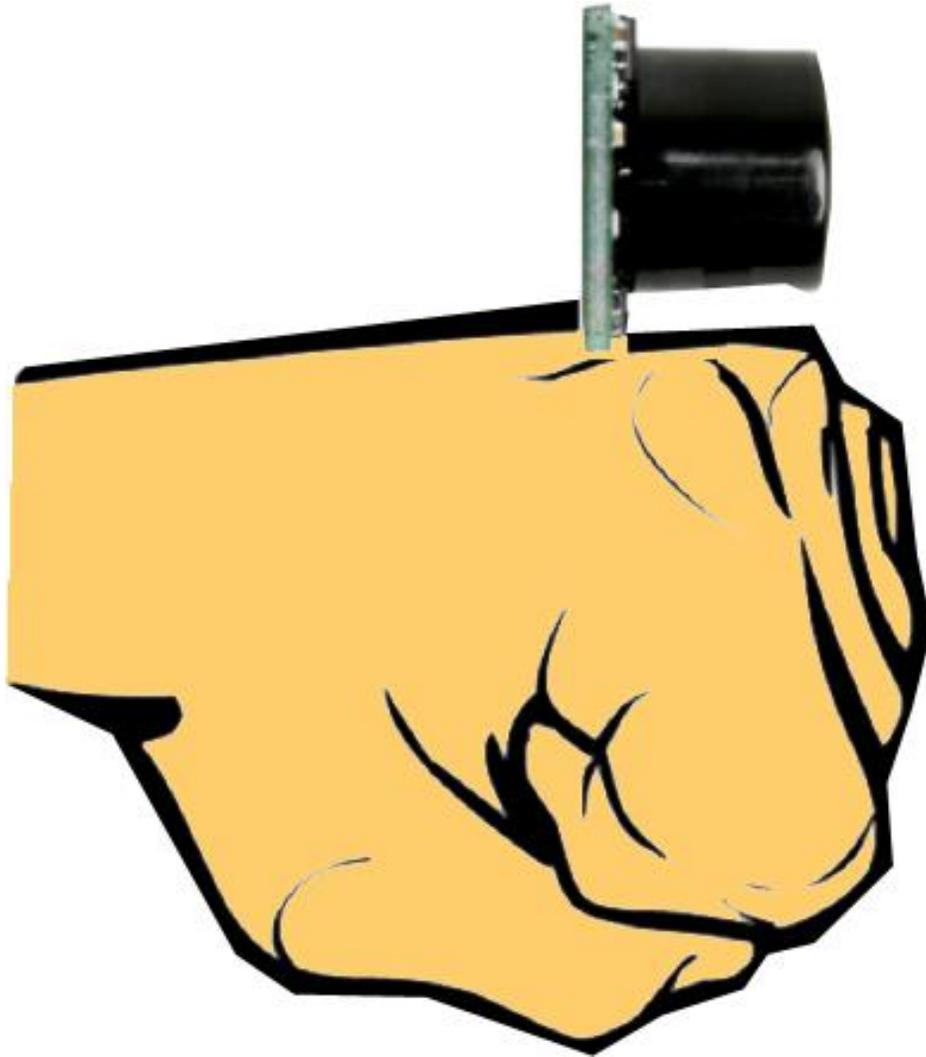


Figura 23. Ubicación del sensor sobre el dorso de la mano.

La disposición del actuador se puede apreciar en la Figura 2, el cual es dispuesto de esta forma pensando en entregar la información al usuario de la forma más funcional posible.

Adicionalmente se debía tener en cuenta como sería el acople de esta plataforma al guante que la contacta con el dorso de la mano. Se debían tener claras las medidas del guante para que así la plataforma no superara su tamaño. En la Figura 24 se puede ver la plataforma sobre el guante.

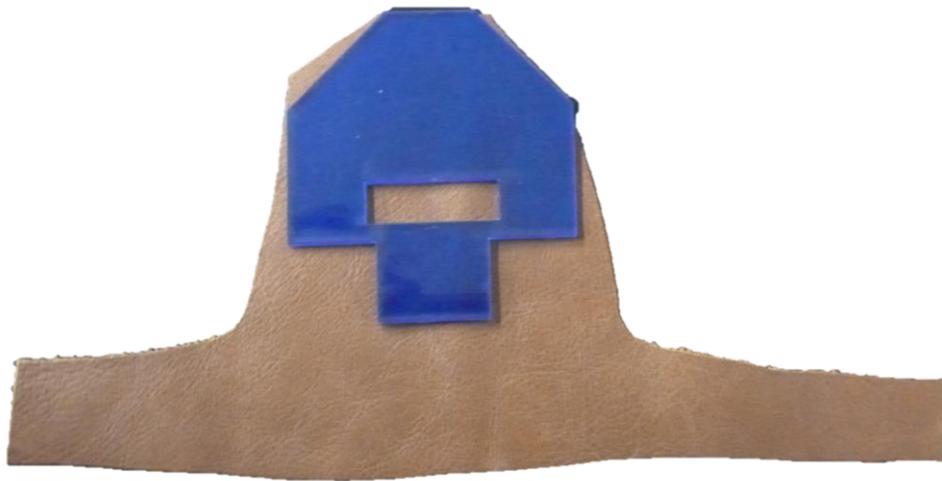


Figura 24. Plataforma sobre el guante

En la figura se puede ver cómo la plataforma no excede el tamaño del guante, al cual es acoplada por medio de velcro adhesivo. Adicionalmente, se puede ver que la plataforma cuenta con una apertura en ella cuyo fin es que el servo motor haga la retroalimentación.

En una simulación realizada (Figura 25) de la plataforma con la disposición del sensor y el servomotor en 3D MAX⁶ se pudo observar una primera impresión de la forma del sistema embebido previo a su acople al guante.

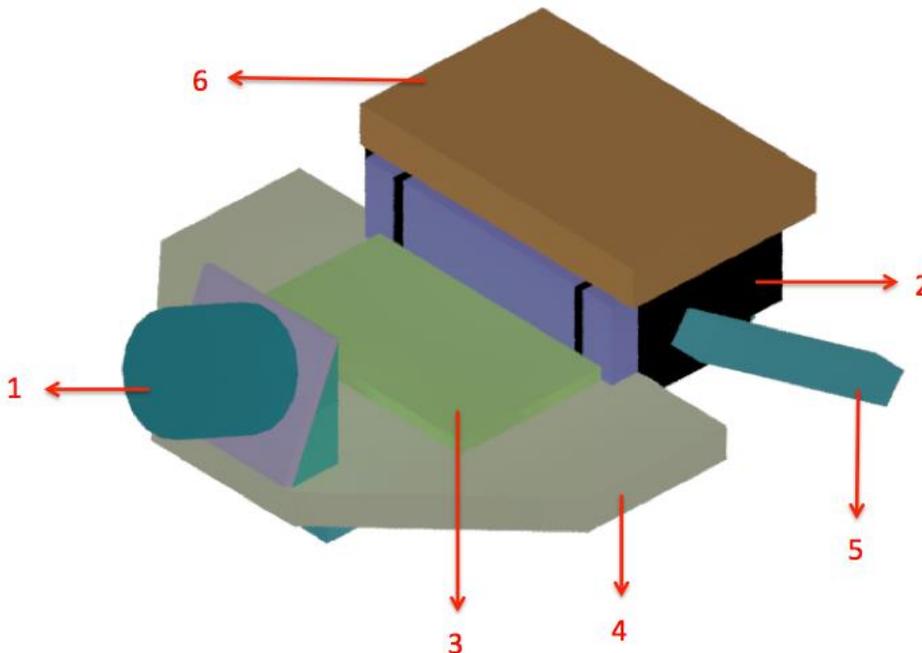


Figura 25. Simulación realizada en 3D MAX.

⁶ Programa para crear gráficos e imágenes en 3D

Con la siguiente tabla de convenciones se puede identificar cada componente:

Número	Componente
1	Sensor Ultrasónico
2	Servo motor
3	Circuito impreso
4	Plataforma que sostiene el sistema embebido
5	Paleta, encargada de tocar el dorso de la mano
6	Batería

Tabla 9. Componentes sobre la plataforma.

Para el diseño de esta plataforma que contiene el sistema embebido se recurrió a AutoCAD⁷, para que adicionalmente en el momento de necesitar la plataforma se recurriera a una cortadora laser para que generara un corte con la forma de la plataforma en acrílico, material que fue escogido debido a su bajo costo, poco peso y facilidad. El diseño de dicha plataforma se puede ver en la *Figura 26*.

⁷ Software de dibujo en 2D y modelado en 3D

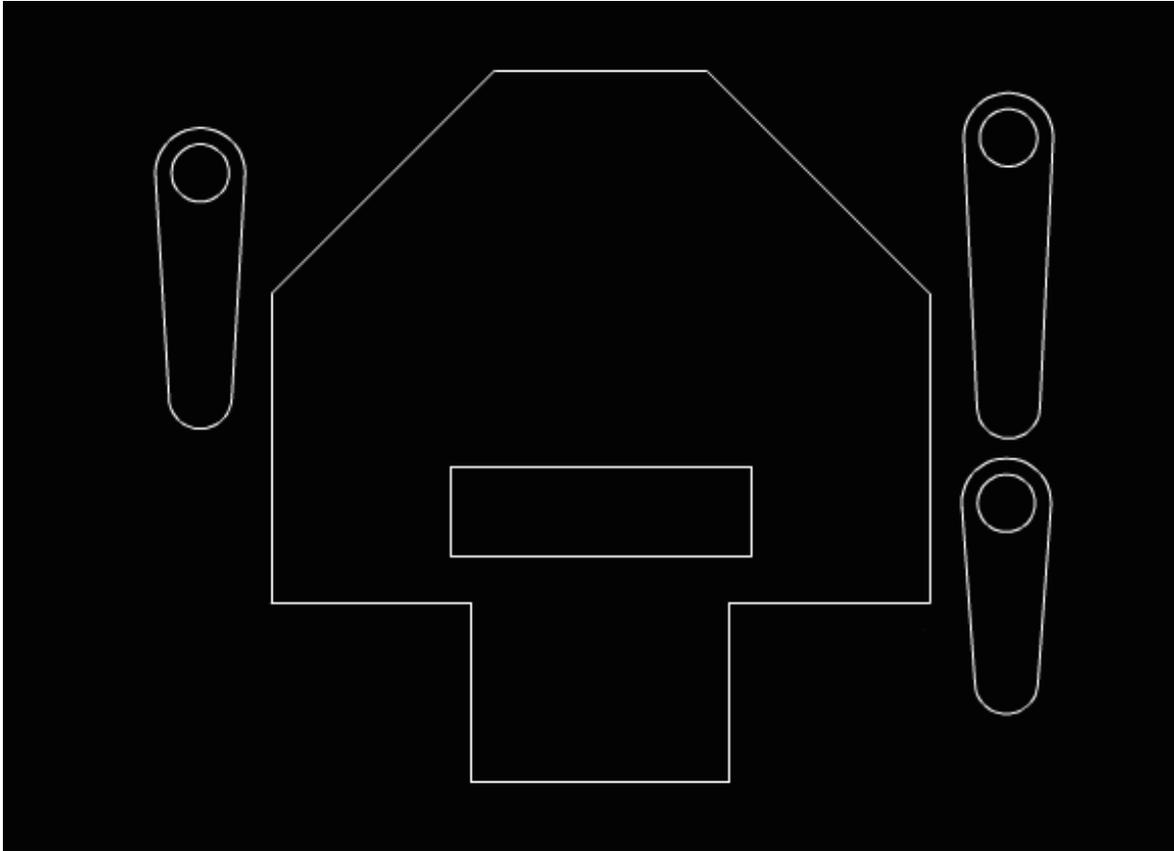


Figura 26. Diseño plataforma.

Como se puede apreciar en la figura, la plataforma cuenta con un hueco. Este está pensado para que el servo motor haga la retroalimentación al usuario. Mientras que las otras tres figuras que se pueden apreciar son unas paletas que se le acoplan al servomotor para que este realice el toque.

A partir de esto se realizó el montaje de los componentes sobre dicha plataforma, teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente. En la *Figura 27* se aprecia la ubicación del sensor y el servomotor sobre la plataforma.

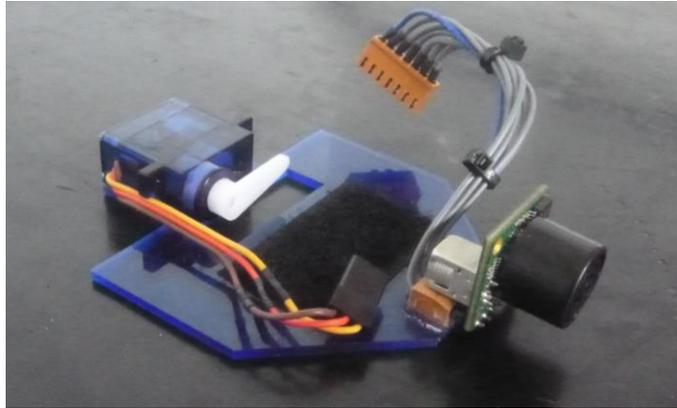


Figura 27. disposición final de los componentes

6.8. Blind Tact

El sistema embebido como tal, es decir el *Hardware*, atravesó varias etapas dentro del proyecto. Es así como se realizaron diferentes prototipos para cumplir los desarrollos específicos de cada etapa del proyecto; a medida que el proyecto iba avanzando, el sistema embebido iba cogiendo forma.

En la primera etapa del proyecto era necesario familiarizarse con los componentes primordiales y, como se recurriría a un micro controlador ATmega, se podría utilizar una placa Arduino para la familiarización con los componentes básicos, ósea, el sensor y el servomotor. En este momento se usó un Arduino UNO con el cual se realizó la caracterización de estos dos componentes. En la Figura 28 se ve esta primera versión de lo que sería el sistema embebido.

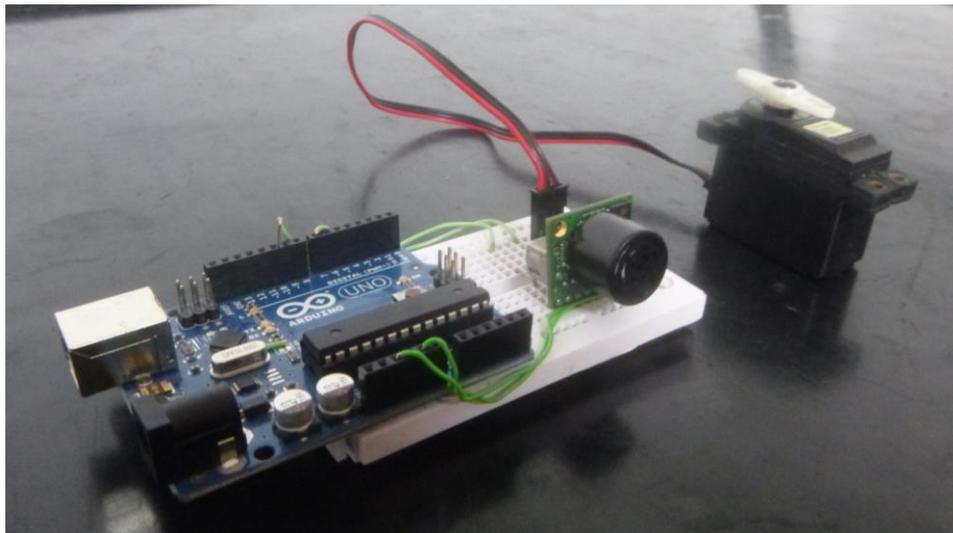


Figura 28. Blind Tact primer prototipo

Luego se procedió a realizar un prototipo que ya se pudiera poner y fuera posible saber la funcionalidad y posibles correcciones para una versión final. Este prototipo se realizó a través de un Arduino Mini PRO y una FTDI que permitía su conexión con un computador. Con este, ya

estábamos en la capacidad de integrar los componentes sobre la plataforma y ajustarlos sobre el guante. En la Figura 29 se puede ver una imagen del primer guante realizado.



Figura 29. Blind Tact segundo prototipo.

Con el anterior sistema embebido ya se contaba con la posibilidad de verificar si la disposición de los componentes era la mas adecuada tanto en funcionalidad como en comodidad, además de poder realizar pruebas de funcionamiento para que así el programa que rige el sistema embebido fuera lo más justo posible, es decir que el *Software* que controla el *Hardware* fuera el más indicado y se cumplieran así los objetivos y las especificaciones.

De los datos y experiencias recolectadas con las pruebas realizadas con este segundo prototipo, se procede a realizar el diseño y posterior montaje de la versión final, la cual cuenta, a diferencia de la versión anterior, con el circuito impreso propio del sistema embebido, además de la batería lo que va permitir mayor autonomía debido a que el segundo prototipo debía permanecer conectado vía USB. En la Figura 30 se puede ver el resultado de la integración de los diferentes desarrollos realizados en este proyecto, es decir el Prototipo Final del sistema embebido *Blind Tact*.

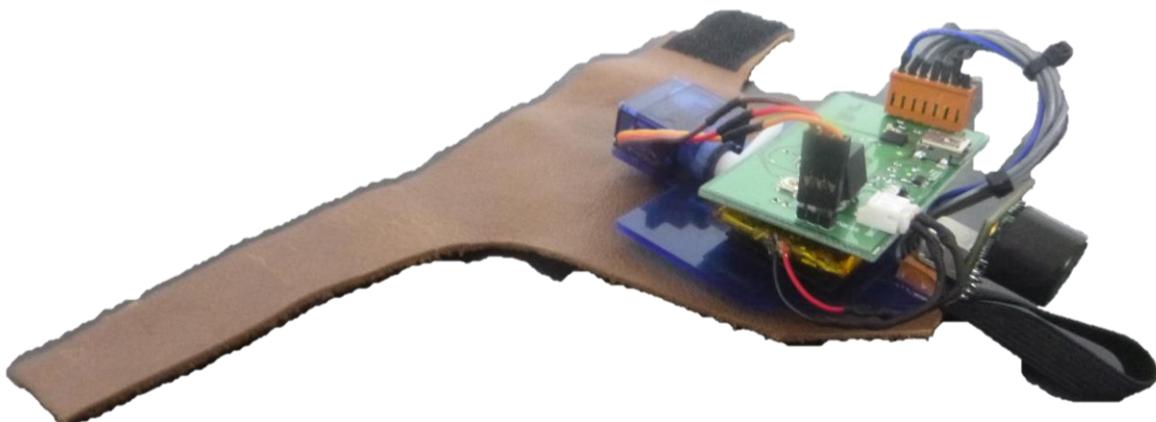


Figura 30. Blind Tact prototipo final.

7. Análisis de resultados

Para el desarrollo e implementación de este proyecto fue necesario realizar una serie de pruebas, caracterizaciones y experimentos los cuales serán descritos y analizados para comprender mejor el fin del proyecto.

7.1. Circuito impreso

El circuito impreso que aloja el sistema embebido (*Figura 31*) fue probado y analizado y cumple con las especificaciones de tamaño, peso y demás requerimientos que se plantearon al principio del proyecto y algunos que surgieron en el desarrollo del mismo. En la *Tabla 10* se pueden apreciar las características físicas del circuito impreso.

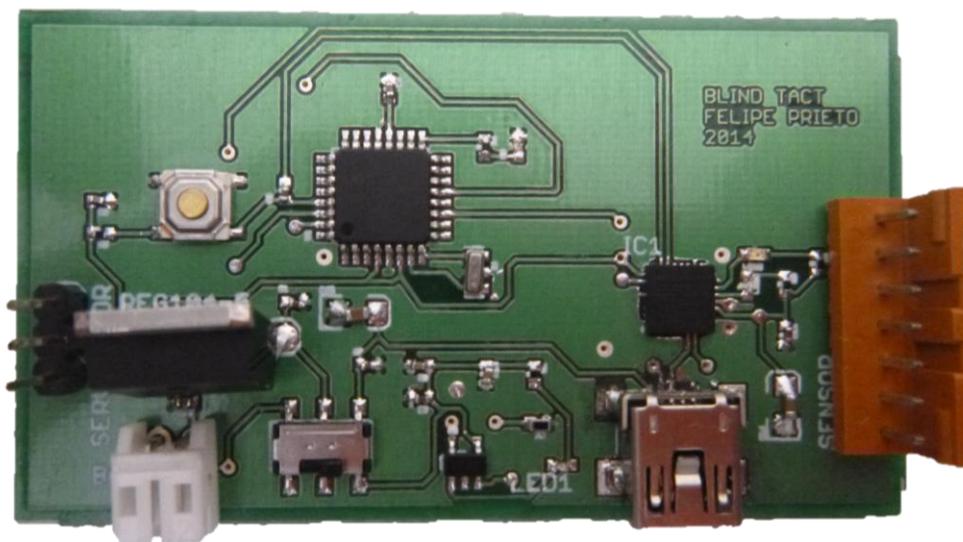


Figura 31. PCB final

Característica	Valor
Dimensiones	64 mm x 37 mm
Peso	144 gr
Grosor	0.8 mm
Resolución	12 mills
Ancho de pista	2 Oz de cobre
Número de componentes	33 Componentes
Numero de capas	2 Capas

Tabla 10. Características circuito impreso

En la siguiente imagen (*Figura 32*) se hace una descripción de los principales componentes utilizados en el circuito impreso del sistema embebido.

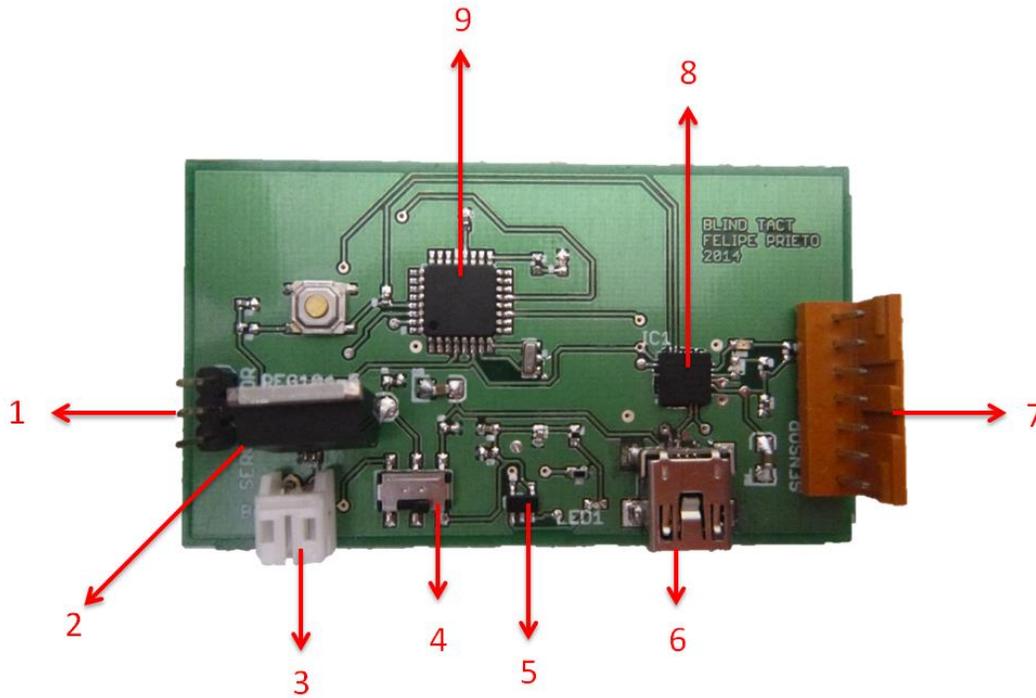


Figura 32. Especificación Componentes.

Número	Componente	Descripción
1	Conector Servo Motor	Este se encarga de permitir la conexión del PCB con el servo motor
2	REG 104 - 5	Este componente es un regulador y se encarga de mantener el voltaje proveniente de la batería en 5 V
3	Conector Batería	Permite conectar la batería
4	Switch	Con este se elige el modo de operación del sistema embebido; si es a través de la batería o por medio de la USB
5	MCP 73831	Este se encarga de permitir que el circuito impreso cargue la batería cuando se encuentra conectado vía USA

6	Conector USB	Permite que la batería se recargue, además de dar la opción de programar el sistema embebido
7	Conector Sensor	Estable conexión con el sensor
8	FT 232 RQ	Este es el que se encarga de comunicar el computador con el Micro controlador
9	ATMega 328P	Micro controlador, cerebro del <i>Blind Tact</i>

Tabla 11. Descripción de componentes en el circuito impreso.

Ya teniendo el PCB listo se procedió a verificar su funcionamiento, es decir, si con este podríamos recibir datos del sensor y hacer que el servomotor actuara dependiendo de este dato. En la Figura 33 se puede ver cómo se procedió con las pruebas.

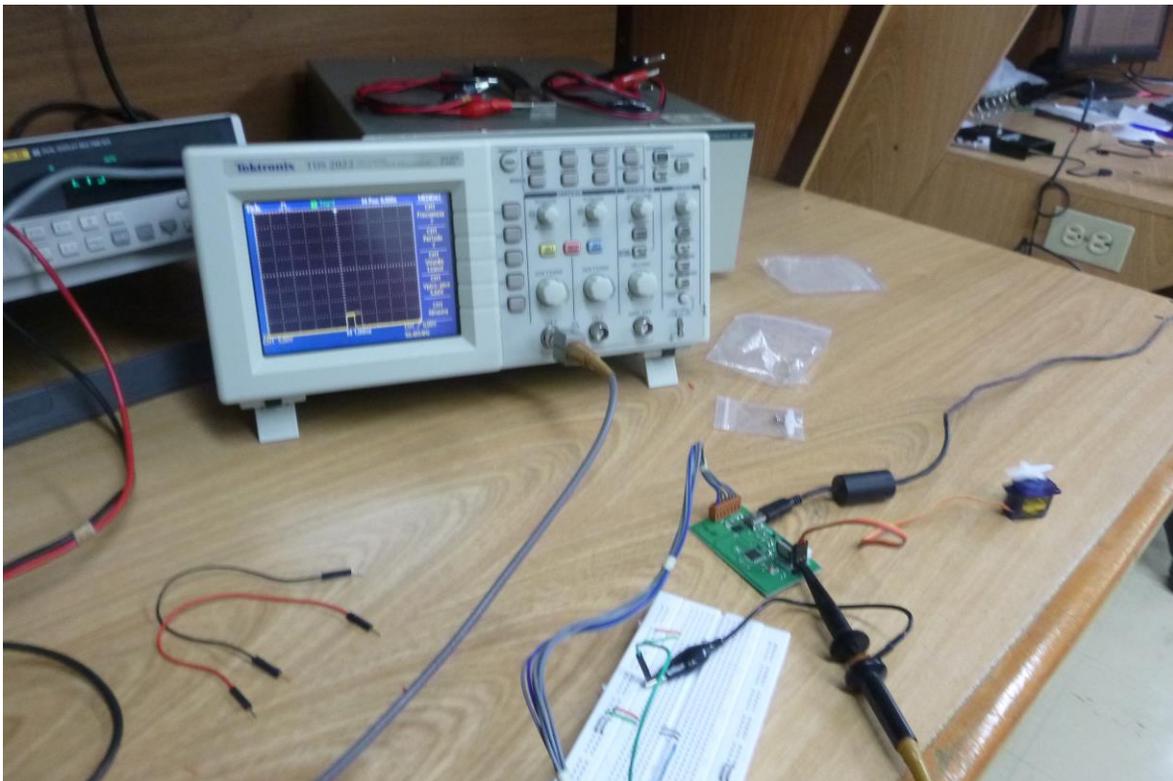


Figura 33. Prueba circuito impreso

Analizando el circuito impreso se desea observar la señal que el sensor está entregando al micro controlador y la señal que el micro controlador está entregando al servo motor, y verificar si estas

son las deseadas. En el osciloscopio se pudieron ver las señales esperadas, como se muestra en la Figura 34, donde podemos ver la señal que el sensor le provee al micro controlador.

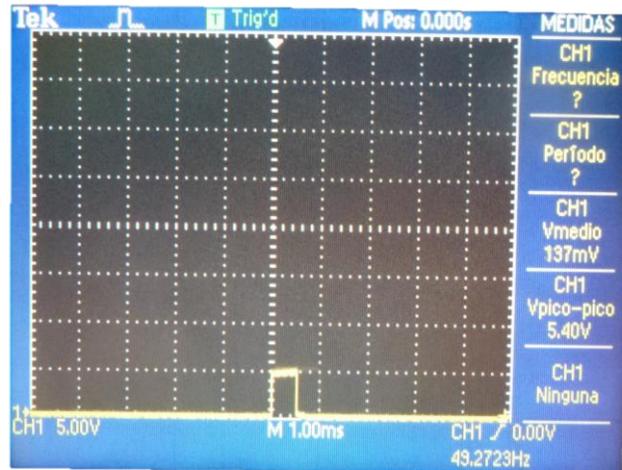


Figura 34. Señal proveniente del sensor vista en el osciloscopio.

Aquí podemos ver lo que se deseaba, un Ancho de pulso que cuenta con una amplitud constante pero que varía dependiendo de la distancia como se especifica en las secciones 6.2.1 y 6.4.

Por otra parte, en la Figura 35, se observa la señal que el servomotor está recibiendo por parte del micro controlador.

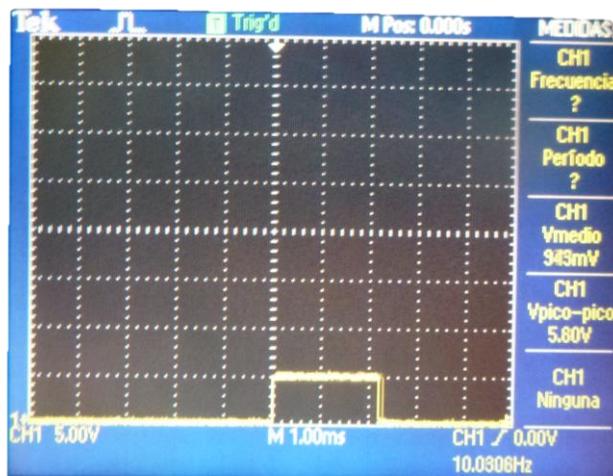


Figura 35. Señal que rige el servomotor vista desde el osciloscopio.

En esta imagen se puede apreciar un ancho de pulso, el cual posee una amplitud de 5 V y maneja el servomotor mediante el concepto de PWM, en donde al variar este ancho de pulso, varía la respuesta del servomotor.

Luego, se procedió a realizar la medición de la corriente esto con el fin de saber si el cálculo realizado para la selección de la batería era el adecuado y esta podría brindar la autonomía que allí se describe, en la siguiente figura se puede ver la corriente medida en el DVM.



Figura 36. Consumo del sistema embebido.

Viendo esto nos damos cuenta que el dato visto en el medidor es muy cercano al dato que se calculó el cual es de 108,7 [mA], por lo que para la corriente medida el dispositivo tendría una autonomía de:

$$\text{Tiempo de Operación} = \frac{\text{Capacidad batería} * 1 h}{\text{Corriente medida}}$$

$$\text{Tiempo de Operación} = \frac{860 \text{ mAh} * 1 h}{120,31 \text{ mA}}$$

$$\text{Tiempo de Operación} = 7,1482 h$$

7.2. Sistema embebido

Este capítulo básicamente se refiere a la integración de la plataforma con los componentes y el guante, para su posterior acople a la mano. En la Figura 36 se pueden apreciar los elementos que integran este sistema embebido. De igual manera, la forma cómo el sistema embebido retroalimenta al usuario y si se cumplen las especificación y objetivos respecto al diseño físico del dispositivo *Blind Tact*.

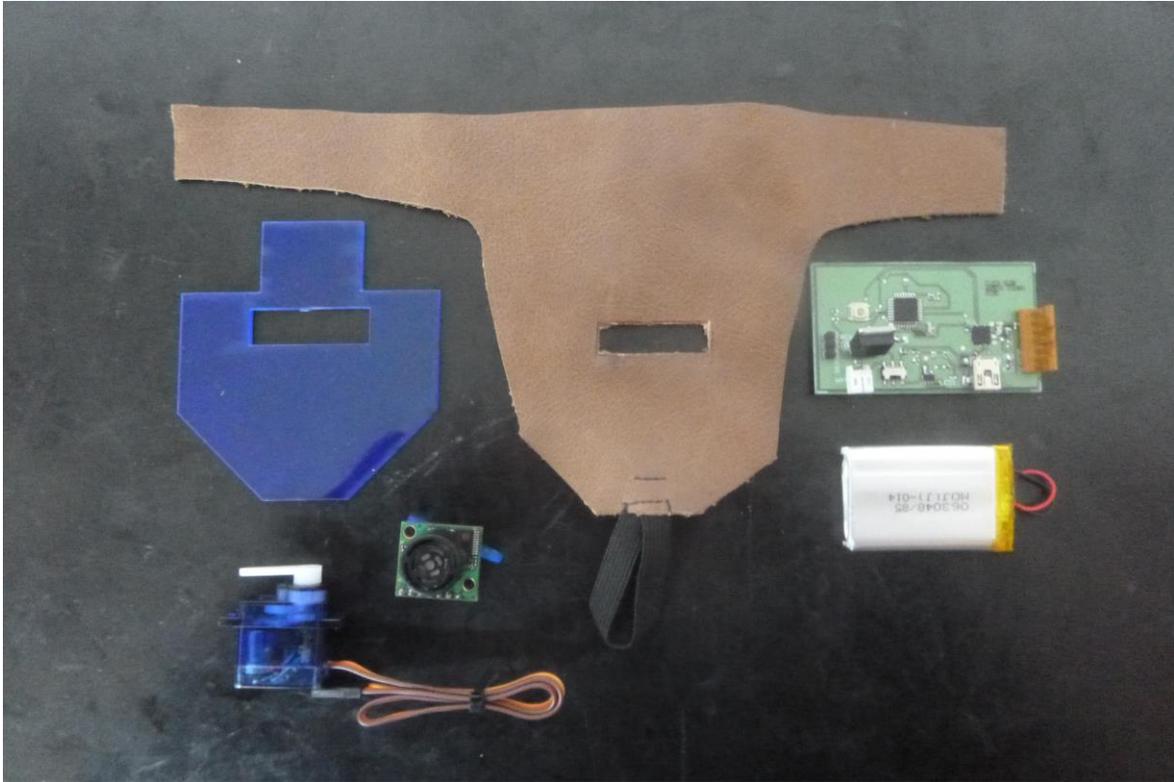


Figura 37. Elementos que integran el Blind Tact

Como se vio en la sección 6.8, el diseño del sistema embebido fue evolucionando conforme el proyecto avanzaba y este diseño iba supliendo las necesidades del momento. Es así como se desarrollaron tres prototipos: el primero era el sensor conectado a una tarjeta de desarrollo que a su vez esta iba conectada a un servo. Posteriormente se procedió al desarrollo del guante y luego la plataforma para contener los componentes, como se puede ver en la secciones 6.6 y 6.7.

Esta sección básicamente es la unión de las secciones 6.6, 6.7 y 6.8, y si de esta unión se pudo obtener lo deseado: una plataforma, conteniendo un sistema embebido, acoplada a un guante que cumple con las especificaciones y objetivos. Es así como en la Figura 38 se puede ver el resultado de esta integración, la cual es un guante adherido al dorso de la mano que cuenta con un sistema que se encarga de censar la distancia para que mediante toques en el dorso de la mano le retroalimente al usuario su distancia.

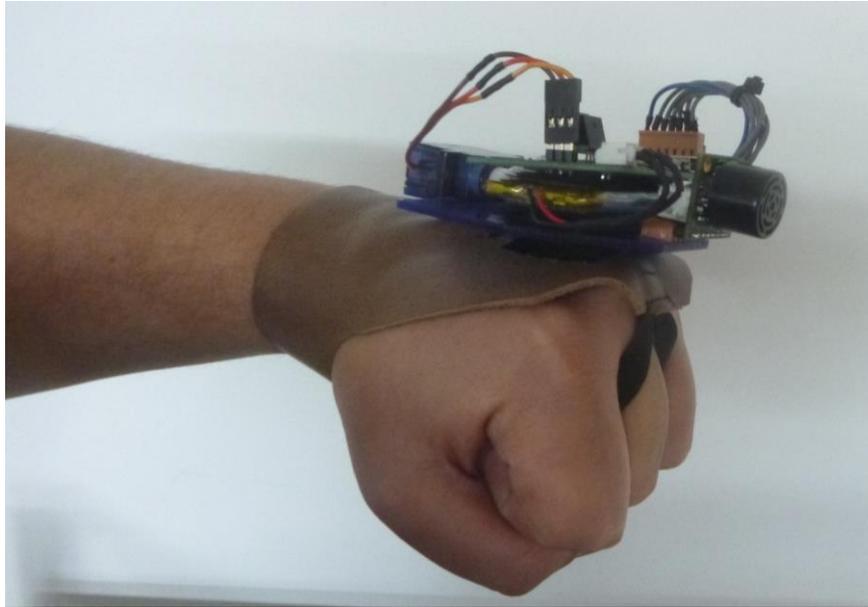


Figura 38. Sistema embebido

7.3. Experimentos

Para probar el funcionamiento de este sistema embebido fue necesario recurrir a diferentes experimentos de comprobación, los cuales están registrados y documentados en esta sección. La finalidad de los experimentos descritos aquí no era otra sino probar la funcionalidad del sistema embebido.

7.3.1. Experimento 1

Objetivo

Conocer si los datos medidos por el sensor son datos confiables

En este experimento se procedió a realizar la caracterización de los sensores mediante un programa que recibe los datos provenientes del sensor y estos son impresos en el monitor serial. Aquí se contó con una estructura en madera de 138 cm de alto por 100,5 cm de ancho, que se fue moviendo centímetro a centímetro desde 0 hasta 200 (Figura 38), para que luego los datos obtenidos fueran analizados.

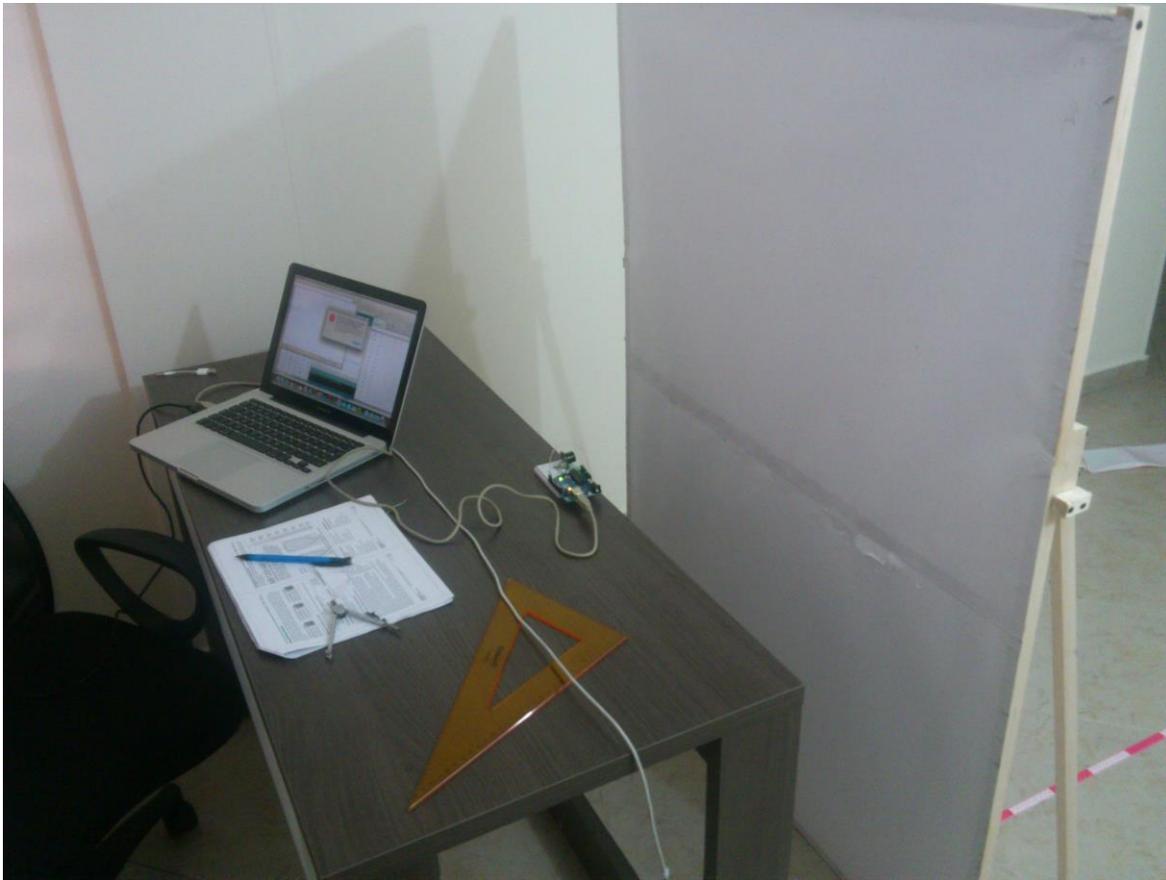


Figura 39. Experimento 1

Protocolo

- Poner una guía (un metro, el cual cuenta con un error de $\pm 1\text{mm}$) por donde la estructura se ira desplazando y así poder corroborar que el dato medido con esta guía es el mismo que el medido por el sensor.
- Ubicar el sensor frente a la estructura.
- Empezar a recibir datos e ir moviendo la estructura centímetro a centímetro.
- Analizar los datos.

Resultados

A partir de este experimento se generó un programa en Excel que contenía todos los datos registrados en el monitor serial, en donde se tenían, columna por columna, los datos medidos, desde 0 hasta 200 cm, por el sensor, este censo por 5 segundos, lo que nos permitió obtener 150 datos de cada medida. En las siguientes Figuras se puede ver los resultados arrojados

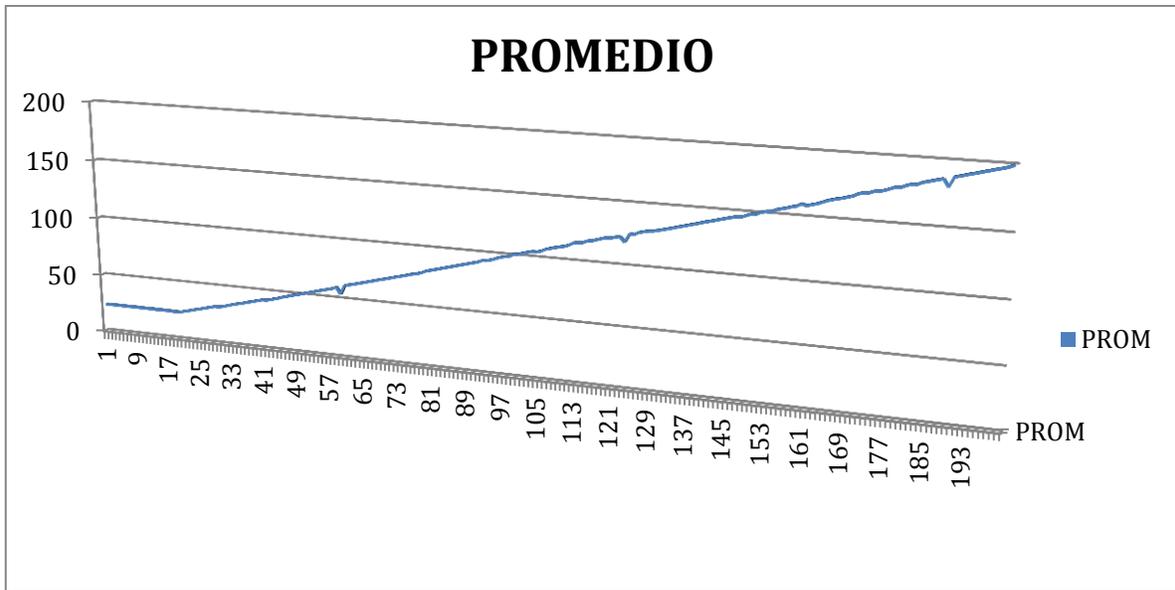


Figura 40. Valor Promedio.

En esta imagen se puede apreciar como después de los 20 cm el promedio empieza a estabilizarse, esto es debido a la limitación con la que cuenta el sensor, donde este no es capaz de censar distancias inferiores a 20 cm.

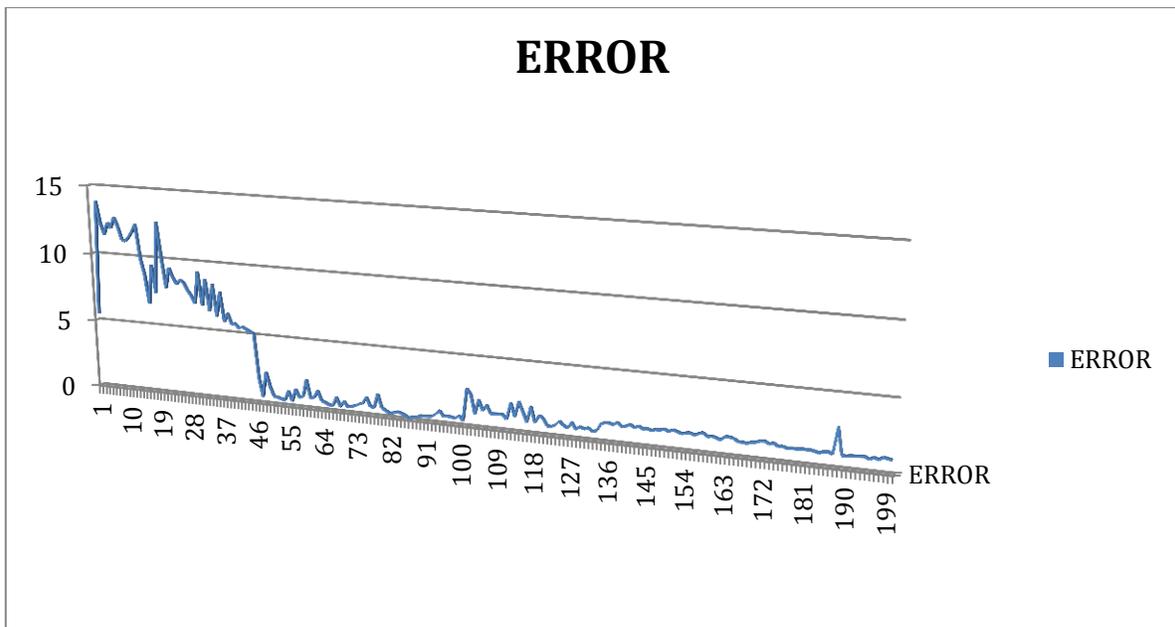


Figura 41. Error

A partir de este grafico podemos inferir algo muy similar al anterior, el hecho que el sensor no sea capaz de medir distancias inferiores a 20 cm genera que el error se estabilice mucho después de que el sensor está dando un dato fidedigno.

A partir de estas gráficas y otras que se encuentran en anexos se pudo concluir que el sensor es capaz de medir datos centímetro a centímetro, con un error mínimo, siempre y cuando esté haciendo mediciones por encima de los 20 cm

7.3.2. Experimento 2

Objetivo

Identificar si el usuario logra captar un obstáculo con el sistema embebido.

Objetivos específicos

- Probar que un individuo es capaz de percibir un obstáculo con el *Blind Tact*.
- Identificar si el usuario logra comprender que el cambio en la frecuencia con la que el servomotor toca el dorso de la mano corresponde a un cambio en la distancia del usuario con el obstáculo.

En esta prueba se desea simular el dato proveniente del sensor para así corroborar que un individuo está en la capacidad de percibir cambios de distancia, es decir si son capaces de interpretar que un cambio en la frecuencia con la que el servomotor toca el dorso de la mano corresponde a un cambio en la distancia de esta persona con respecto a un obstáculo.

Por esto se crea un programa que permite introducir un dato por el monitor serial para que el programa lo interprete como la medida realizada por el sensor, en donde se simularán 30 datos por segundo, con lo que podremos realizar el cálculo de cuánto tiempo tarda el sujeto de experimento en percibir el cambio, tal como el sensor, y así sea aplicado al algoritmo de estimación del PWM que controlará el servomotor.

Adicionalmente, este programa contará con un pulsador que el usuario deberá oprimir cada vez que perciba un cambio, es así como se obtendrá un programa en Excel donde en una columna estarán los datos provenientes del puerto serial, es decir los datos simulados, y en otra, los datos provenientes del pulsador, los cuales siempre serán cero hasta que este sea oprimido.

Protocolo

1. Como primer paso se le explicará al sujeto el funcionamiento del dispositivo y qué tendría que esperar como usuario.
2. Luego se procede a sentar al usuario en una silla, que cuenta con apoya brazos, en esta el usuario tendrá los ojos vendados y adicionalmente los oídos tapados.
3. El usuario tendrá el brazo apoyado sobre el apoya brazos de la silla. Sin embargo, se le menciona al usuario que tiene que realizar un movimiento horizontal con el brazo en el que tiene el sistema embebido con el fin que simular que está percibiendo dos obstáculos.
4. El aprendizaje que conlleva la utilización del *Blind Tact* comienza por hacerle saber al usuario cuáles son los rangos de operación del sistema embebido y cómo están representados; es decir, se le indica al usuario cuál es la respuesta del servomotor sobre su dorso a 30 cm y a 180 cm hasta que logren identificar cada rango. Adicionalmente se le indica al usuario que cada vez que distinga un cambio en la retroalimentación del sistema embebido, deberá oprimir un pulsador para así registrar que ha percibido el cambio.
5. Se procede al desarrollo del experimento donde, al simular los datos provenientes del sensor a través del monitor serial, estos se aplican al algoritmo de cálculo del PWM para

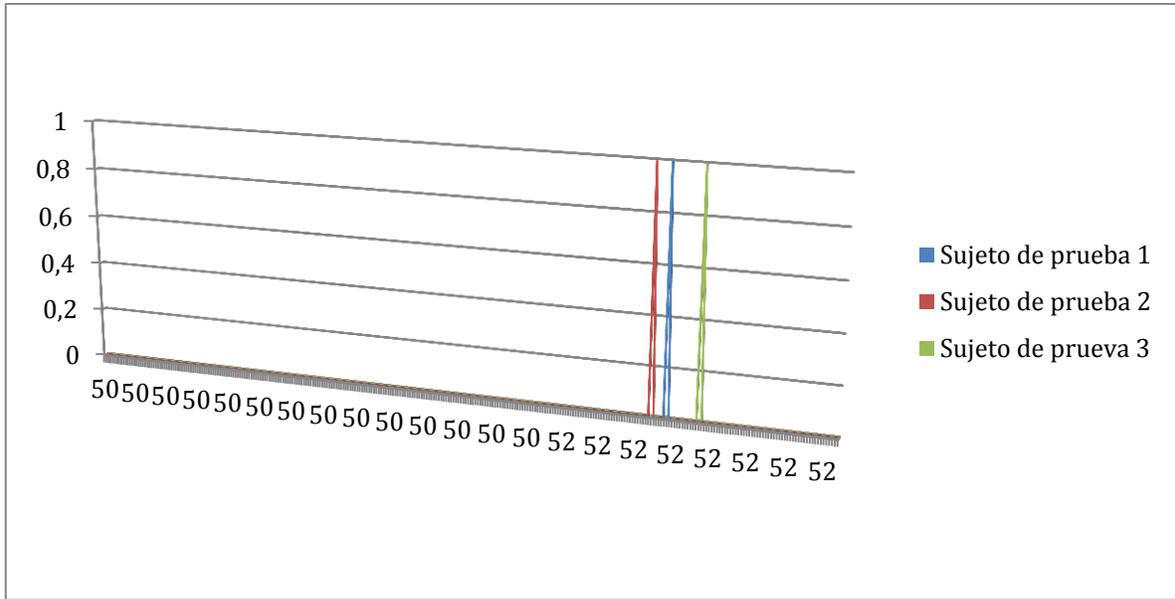


Figura 44. Gráfico prueba 2 cm.

Y luego de realizarle el mismo tratamiento que a los anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Cambio de 2 cm		
Sujeto de Prueba	# de datos	Tiempo de respuesta
1	45	1,5
2	39	1,3
3	57	1,9

Tabla 14. Tiempo de respuesta para 2 cm.

De estas tablas podemos ver que entre más corta sea la distancia, más tiempo le toma al usuario percibir el cambio en la frecuencia con la que el servo motor toca el dorso de la mano, esto se debe a que la retroalimentación cuando dos obstáculos están cerca va a ser relativamente parecida por lo que la percepción se ve afectada. Sin embargo con un ajuste en el programa se puede hacer una corrección permitiendo que el usuario tenga más tiempo para identificar este dato.

7.3.3. Experimento 3

Objetivo

Corroborar el funcionamiento del sistema embebido

Objetivos específicos

- Probar que un individuo es capaz de percibir que el cambio en la velocidad del toque corresponde a un cambio en la distancia que el sensor está registrando con respecto a un obstáculo.
- Corroborar que las distancias mínimas y máximas que mide el dispositivo son las más adecuadas para la interpretación del usuario.

Este experimento es en síntesis el mismo experimento 2, con la salvedad que los datos esta vez no corresponden a datos simulados, sino que son lo que el sensor está entregándole al sensor. A raíz de que este experimento es muy similar al anterior, este también contara con un programa que permita visualizar los datos obtenidos por el sensor, así como que el usuario tenga la capacidad de oprimir un interruptor en cada instante que perciba un cambio.

Protocolo

1. Como primer paso se le explicara al sujeto como es el funcionamiento del dispositivo y que tendría que esperar como usuario del dispositivo.
2. Luego se procede a sentar al usuario en una silla, que cuenta con apoya brazos, en esta el usuario tendrá los ojos vendados y adicionalmente los oídos tapados.
3. El usuario tendrá el brazo apoyado sobre él apoya brazos de la silla, sin embargo se le menciona al usuario que tiene que realizar un movimiento horizontal con el brazo en el que tiene el sistema embebido.
4. El aprendizaje que conlleva la utilización del *Blind Tact*, comienza por hacerle saber al usuario cuales son los rangos de operación del sistema embebido y como están representado, es decir se le indica al usuario cual es la respuesta del servo motor sobre su dorso a 30 cm y a 180 cm hasta que logren identificar cada rango. Adicionalmente se le indica al usuario que cada vez que el distinga un cambio en la retroalimentación del sistema embebido este deberá oprimir un pulsador para así registrar que ha percibido el cambio.
5. En este punto se procede a poner las dos estructuras en distancias diferentes aleatoriamente, eso sí, siempre y cuando se encuentren dentro del rango de operación.
6. A partir de estos datos se obtendrá un programa en Excel, en donde en una columna estarán los datos provenientes del sensor y en otra la información proveniente del interruptor que el usuario oprimía cada vez que percibía un cambio.

Resultados

Estas pruebas fueron realizadas a tres sujetos con tres distancias de separación diferentes entre el Objeto A y el Objeto B. En las siguientes gráficas y tablas se puede ver la respuesta de cada sujeto a una distancia de separación entre el Objeto A y el Objeto B de 10 cm:

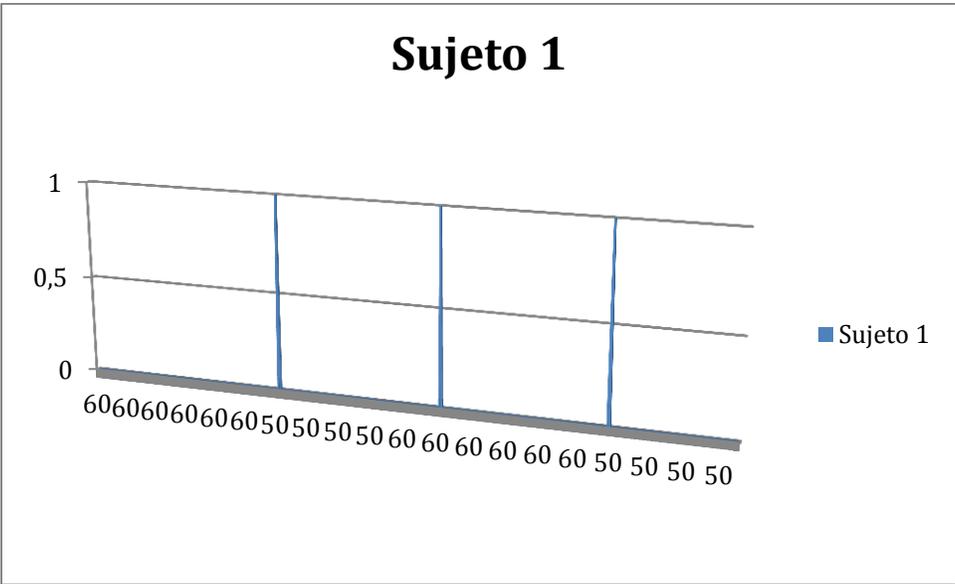


Figura 45. Respuesta Sujeto 1 a 10 cm

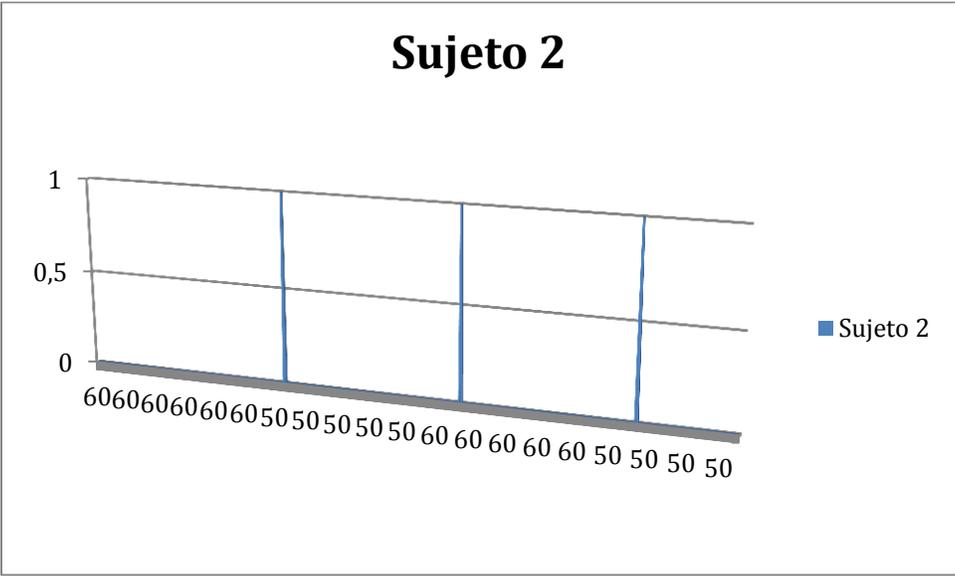


Figura 46. Respuesta Sujeto 2 a 10 cm

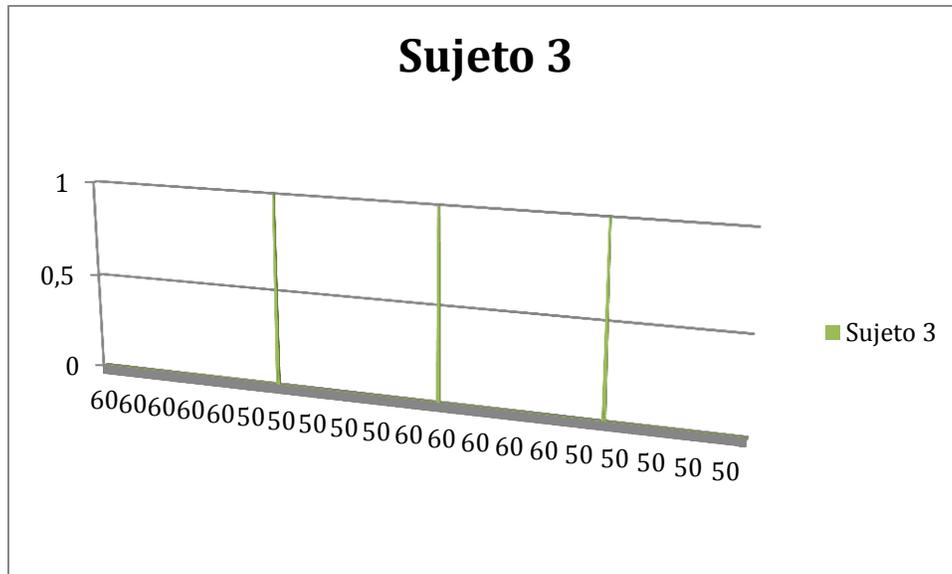


Figura 47. Respuesta Sujeto 3 a 10 cm

A partir de las gráficas se pudo identificar el tiempo de respuesta igual que el en Experimento 2, con lo que se obtuvo la siguiente tabla:

Cambio de 10 cm		
Sujeto de Prueba	# de datos	Tiempo de respuesta
1	32	1,06666667
	34	1,13333333
	29	0,96666667
2	30	1
	32	1,06666667
	35	1,16666667
3	32	1,06666667
	35	1,16666667
	30	1

Tabla 15. Tiempo de respuesta para 10 cm

En la prueba de 5 cm entre A y B se obtuvo:

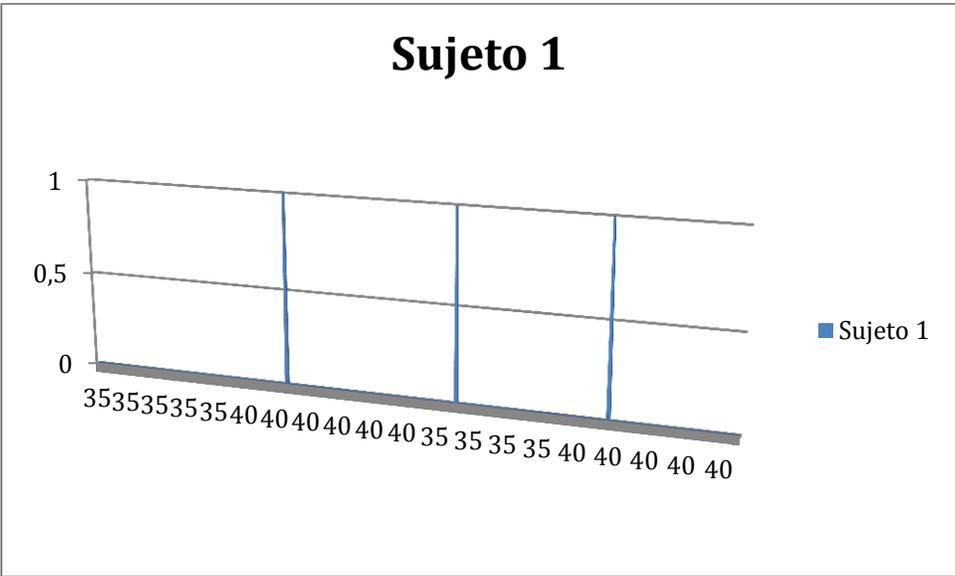


Figura 48. Respuesta Sujeto 1 a 5 cm

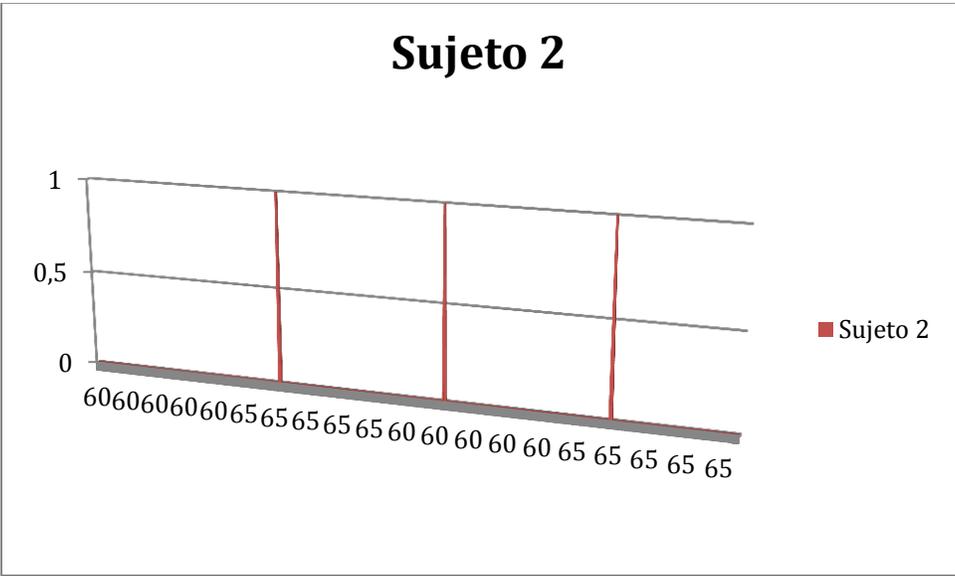


Figura 49. Respuesta Sujeto 2 a 5 cm

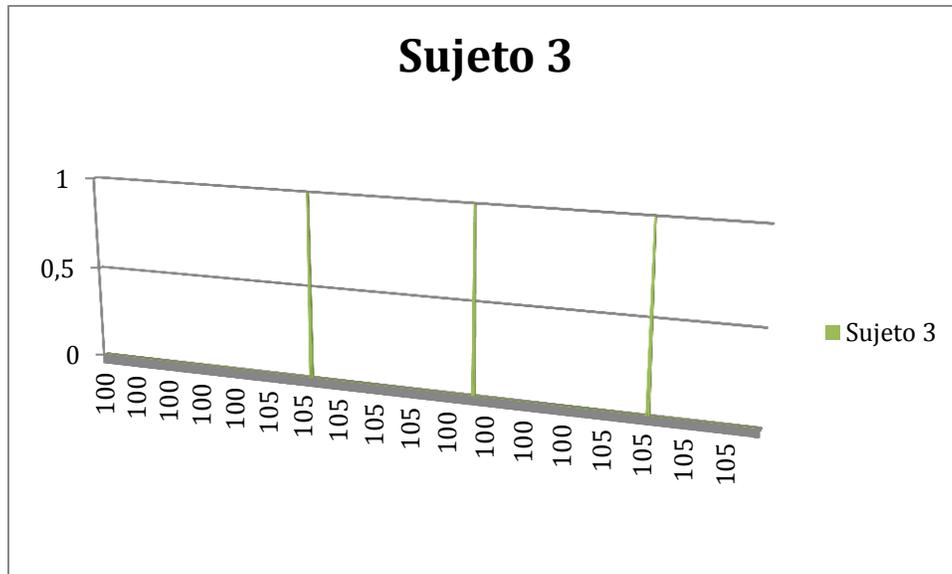


Figura 50. Respuesta Sujeto 2 a 5 cm

De estas graficas se obtuvo:

Cambio de 5 cm		
Sujeto de Prueba	# de datos	Tiempo de respuesta
1	43	1,433333333
	47	1,566666667
	40	1,333333333
2	48	1,6
	51	1,7
	46	1,533333333
3	50	1,666666667
	51	1,7
	48	1,6

Tabla 16. Tiempo de respuesta para 5 cm

De aquí se procedió a realizar la prueba con una separación entre a A y B de 2 cm pero el usuario no fue capaz de percibir el cambio por lo que se realizaron pruebas con 3 y 4 cm. De las pruebas realizadas con 3 cm de distancia entre A y B se obtuvo que los tres sujetos lograron identificar en un 50%, o menos, el cambio entre los dos objetos, cosa que también sucedió en la prueba con 4 cm, por lo que se puede concluir a partir de la prueba realizada la distancia mínima de separación entre dos objetos, que el sistema embebido este percibiendo, es de 5 cm.

8. Conclusiones

- Es de mucha importancia tener claras las especificaciones para desarrollar el sistema embebido, esto debido a que estas están basadas en las necesidades de una persona con discapacidad visual, así como también en las características fisionómicas del dorso de la mano.
- Después de una búsqueda exhaustiva con respecto al tipo de retroalimentación al usuario que se debía utilizar, se pudo llegar a la conclusión de que el dorso de la mano es capaz, fisionómicamente, de recibir toque con un servomotor.
- A partir de la selección de componentes se definió la forma de la plataforma que los albergaría, teniendo en cuenta los tamaños del dorso de la mano.
- Como trabajo futuro se puede desarrollar una interfaz que le permita al usuario manejar ciertas condiciones de funcionamiento del sistema embebido, por ejemplo, la periodicidad máxima y mínima con la que el servomotor toca el dorso de la mano.
- A través de los experimentos realizados se pudieron probar diferentes hipótesis, como por ejemplo la hipótesis de entregar la información sobre el dorso de la mano, lo cual fue corroborado en el experimento 2.
- Otro trabajo futuro es idear una forma para que el circuito no quede expuesto, como se encuentra en este momento, trabajo que sale del alcance de este proyecto.

9. Bibliografía

- [1] “Uso del bastón para ciego”. [En línea]. Disponible en <http://discapacidadcero.weebly.com/uso-del-baston-para-ciego.html#.UWbeGCsZNBm>. Última visita: 9 de abril de 2013.
- [2] Universidad de Cantabria, “Funciones Sensoriales: Sistema Somatosensorial”. [En línea]. Disponible en <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-humana-2011-g367/material-de-clase/bloque-tematico-6.-fisiologia-del-sistema-nervioso/tema-2.-funciones-sensoriales-sistema/tema-2.-funciones-sensoriales-sistema>.
- [3] Kolski, Sascha, *Mobile Robots, Chapter 18: Distance Feedback Travel Aid Haptic Display Design*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2011
- [4] University of Maryland Medical Center, “Ceguera y Pérdida de la Visión – Overview,” 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.umm.edu/esp_ency/article/003040.htm. Última Visita 5 de abril de 2013.
- [5] Contacto Braille, “El Bastón Blanco”. [En línea]. Disponible en: <http://www.contactobraille.com/baston.html>. Última visita: 31 de marzo de 2013.
- [6] Nassih, M., Cherradi, I., Maghous, Y., Ouriaghli, B., & Salih-Alj, Y., “Obstacles Recognition System for the Blind People Using RFID”. Presentado en *2012 Sixth International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*.
- [7] IEEE Spectrum, Peck, Morgen, “RFID Tags Guide the Blind,” 2008. [En línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/biomedical/devices/rfid-tags-guide-the-blind>. Última visita: 10 de abril de 2013.
- [8] IEEE Solid-state Circuits Magazine, Weiland, J., Humayun, M., Tanguay, A., “Out of Darkness: Helping the blind see with artificial vision,” 2012. [En línea]. Disponible en: <http://lifesciences.ieee.org/articles/feature-articles/135-out-of-darkness-helping-the-blind-see-with-artificial-vision>. Última visita: 11 de abril de 2013.
- [9] Punwilai, J., Noji, T., & Kitamura, H., “The Design of a Voice Navigation System for the blind in Negative Feelings Environment,” 2009.
- [10] Redjati, A., & Fezari, M., “An Ultrasonic Navigation System for Blind People,” En *IEEE International Conference on Signal Processing and Communications*, 2007.
- [11] Gao, Robert X., & Li, Chuan, “A Dynamic Ultrasonic Ranging System as a Mobility Aid for the Blind,” 2005.

- [12] Censo general 2005. (2006).
- [13] “Problemas y soluciones para la perdida de la visión”, [En línea]. Disponible en: <http://www.afb.org/section.aspx?TopicID=151&DocumentID=2733>
- [14] IPC-2221, “ Generic Standard on Printed Board Design”, Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits, [En línea]. Disponible: <http://classes.soe.ucsc.edu/cmpe174/Fall12/References/AppNotes/IPC-2221.pdf>
- [15] PWM, meteorología y electrónica [En línea]. Disponible: <http://meteoyelectronica.blogspot.com/2010/12/pwm-una-manera-sencilla-de-controlar-un.html>
- [16] FREESCALE SEMICONDUCTOR, “Using the Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) eTPU Function”, [En línea]. Disponible: http://www.freescale.com/files/32bit/doc/app_note/AN2853.pdf
- [17] R-Luis, “Sistemas micro-controlados”. [En línea]. Disponible: <http://r-luis.xbot.es/pic1/pic01.html>
- [18] Sensor ultrasónico, XL –MaxSonar-EZ, Hoja de especificaciones, MaxBotix, [En línea]. Disponible en: http://maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf
- [19] Servo motor, Micro Servo 9g A0090, Hoja de especificaciones, Sparkfun Electronics, [En línea]. Disponible en: <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Robotics/Small%20Servo%20-%20ROB-09065.pdf>
- [20] Micro controlador, ATmega 328P, Hoja de especificaciones, Atmel, [En línea]. Disponible en: http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet.pdf
- [21] FTDI, FT232RQ, Hoja de especificaciones, FTDI Chip, [En línea]. Disponible en: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [22] Bateria, 06304 Li-polymer, Hoja de especificaciones, Sparkfun Electronics, [En línea]. Disponible en: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Batteries/063048%20Li-polymer.pdf>

