ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA IDENTIFICAR ORIFICIOS EN TUBERÍA POR MEDIO DE ULTRASONIDO

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS

ING. SILVIO LUIS BARRIONUEVO DÍAZ
silviobarrionuevo@hotmail.com

DIRECTOR: LUIS CORRALES PhD
luis.corrales@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2012

DECLARACIÓN

Yo Silvio Luis Barrionuevo Díaz, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Silvio Luis Barrionuevo Díaz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ingeniero SILVIO LUIS BARRIONUEVO DÍAZ bajo mi supervisión.

LUIS ANIBAL CORRALES PAUCAR PhD

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi agradecimiento a mi tutor, Dr. Luis Corrales, por su dedicación y por haberme prestado gran parte de su tiempo para desarrollar este trabajo. La realización de este proyecto ha sido posible gracias a sus consejos y conocimientos.

A mi familia, que siempre ha confiando en mí y me ha apoyado en los momentos difíciles de mi carrera.

Por último a mis amigos y compañeros de clase, también siempre presentes en los momentos duros y mostrándome en todo momento el lado positivo de las cosas.

En definitiva, a todas aquellas personas que me han mostrado su apoyo y han confiando en mí a lo largo de estos años.

DEDICATORIA

A mi esposa Pamela, a mis hijos Luis y Martin que con su apoyo y aliento me impulsaron a culminar la instrucción de cuarto nivel y a finalizar este proyecto.

A mis demás familiares, quienes siempre me ofrecieron su ayuda desinteresada e incondicional.

CONTENIDO

PÁGINA

RESUMEN…….. 1

PRESENTACIÓN…….. 2

OBJETIVOS Y ALCANCE…… 3

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 El ultrasonido……..... 5

1.2 Principios generales de ultrasonido……... 6

1.3 Generadores y receptores de ultrasonido…… 8

1.4 Aplicaciones más frecuentes del ultrasonido…… 13

1.5 Definición de la solución propuesta……. 16

CAPITULO 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

2.1 Principio de funcionamiento del sistema ……..... 17

2.1.1 Plataforma móvil para el transporte del sensor de ultrasonido SRF02. ..……... 19

2.1.2 Etapa de visualización y control del móvil……..... 26

2.1.3 Tarjeta de adquisición de datos y de envío hacia el computador……... 30

2.1.4 Diseño de las fuentes de alimentación……...…… 31

CAPITULO 3. DISEÑO DEL SOFTWARE

3.1 Desarrollo del programa para la comunicación del microcontrolador con el computador 33

3.2 Desarrollo del programa para el control del móvil……..... 48

3.3 Desarrollo de la interfaz de comunicación……. 58

3.4 Configuración de la interfaz de comunicación……..... 59

CAPITULO 4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

4.1. Pruebas y resultados de la medición de distancias…… 64

4.2. Pruebas y resultados en la ubicación de orificios…….. 66

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones…….. 74

5.2. Recomendaciones……..... 75

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….. 77

ANEXOS……..... 79

RESUMEN

El Ecuador es productor y exportador de petróleo, y por lo mismo requiere que los entes de control de las actividades hidrocarburíferas, implementen sistemas automáticos de control, verificación y optimización de los procesos involucrados.

Con este objetivo se ha diseñado y construido una herramienta para la detección de orificios, producidos en la tubería por corrosión o por otras causas, por medio de ultrasonido para el control de fugas a través de orificios.

Con este propósito se construyó un modulo electrónico basado en un sensor SRF02 y se desarrolló un algoritmo en Labview.

El modulo electrónico permite calcular distancias sobre la base de los datos entregados por el sensor. El algoritmo mide el tiempo de vuelo del ultrasonido que sale desde el transmisor hasta el regreso del eco al sensor receptor. Los resultados se los puede observar en un LCD, en el que se muestra la distancia medida en centímetros. Otro microcontrolador, que recibe los datos del anterior, prepara los datos para enviarlos, mediante comunicación serial, a un computador donde se muestran las distancias medidas mediante un VI de Labview al cual se lo configuró para que pueda desplegar los datos de las distancias.

Si bien estos resultados preliminares permiten afirmar que el equipo podrá detectar orificios en una tubería, lamentablemente se ha llegado a determinar que no se podrá utilizar la tecnología del ultrasonido en una tubería en producción debido a que el crudo evitaría que el sensor funcione adecuadamente.

Con el sistema instalado en un móvil que se desplaza a lo largo de la tubería vacía con velocidades de 0.5, 1 y 2cm/s, se logró detectar orificios de 1 y 2cm de diámetro. Estos datos se los muestra en la HMI y se los podrá almacenar para mantener un historial de los datos medidos.

PRESENTACIÓN

Considerando que la industria hidrocarburífera de nuestro país requiere de un control automatizado de sus operaciones de transporte de hidrocarburos, puntualmente orientado al control de la fuga de combustibles ya sea por las perforaciones clandestinas a la tubería o debido a la corrosión del material.

Con el fin de atender esta necesidad se logra diseñar y construir un prototipo y desarrollar el algoritmo para procesar las señales del transductor de ultrasonido a fin de sintetizar y automatizar el proceso de identificación de orificios en una tubería de hidrocarburos para lo cual fue necesario realizar la respectiva investigación siguiendo la siguiente secuencia:

En el Capitulo 1, se efectúa el análisis teórico, principios generales, generadores receptores de ultrasonido, aplicaciones frecuentes de la tecnología de ultrasonido para su aplicación en la identificación de orificios en tuberías de transporte de hidrocarburos y definición de la solución propuesta.

En el Capitulo 2, se realiza el diseño y construcción del Hardware, circuito generador de señal, Diseño y construcción del circuito acondicionador para el receptor de ultrasonido, descripción del sensor de distancias por ultrasonido, principio de funcionamiento, diseño y construcción del circuito generador de señal para el transmisor de ultrasonido, circuito acondicionador para el receptor, interface de comunicación.

En el Capítulo 3, se efectúa el diseño del software, desarrollo del programa para el microcontrolador y computador personal.

En el Capítulo 4, se describe las pruebas de funcionamiento y resultados de los circuitos construidos del prototipo, realizando las respectivas pruebas en el prototipo para corroborar el diseño propuesto las pruebas permitieron establecer los valores límites tanto del tamaño de los orificios detectados como de la velocidad a la que el prototipo es capaz de detectar los orificios. Finalmente en el Capitulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones fruto de la experiencia adquirida durante el desarrollo y evaluación del proyecto.

OBJETIVOS Y ALCANCE

El principal objetivo de este proyecto es diseñar, construir un prototipo y desarrollar el algoritmo para procesar las señales del transductor de ultrasonido a fin de sintetizar y automatizar el proceso de identificación de orificios en una tubería.

Con el propósito de alcanzar este objetivo global se han planteado los objetivos parciales siguientes:

1. Realizar análisis teórico de la tecnología del ultrasonido en aplicaciones no destructivas para la detección de orificios en tuberías de transporte de hidrocarburos, marco teórico que servirá para diseñar y construir un prototipo que permita detectar orificios en la tubería.

2. Diseñar y construir un prototipo para la detección de orificios en tubería por medio de ultrasonido.

3. Desarrollar un algoritmo en LabView que posibilite, con ayuda del hardware diseñado, detectar orificios en tubería por medio de ultrasonido.

4. Realizar las respectivas pruebas del prototipo para corroborar el diseño propuesto.

5. Realizar las pruebas que permitan establecer los valores límites tanto del tamaño de los orificios detectados como de la velocidad a la que el prototipo es capaz de detectar los mismos.

CAPITULO 1

MARCO TEORICO

Desde el principio de los tiempos, el hombre ha deseado crear vida artificial. Se ha empeñado en crear autómatas que realicen sus tareas repetitivas, pesadas o difíciles para un ser humano. Algunos autores, como J.J.C. Smart y Jasia Reichardt, consideran que el primer autómata en toda la historia fue Adán creado por Dios.

El origen del desarrollo de la robótica se basa en el empeño por automatizar la mayor parte de las operaciones en la industria, esto se remonta al siglo XVII en la industria textil, donde se diseñaron telares que se controlaban con tarjetas perforadas. Con el nacimiento de la Revolución Industrial, muchas fábricas tuvieron éxito y gran aceptación por la automatización de procesos repetitivos en la línea de ensamblaje. La automatización consiste, principalmente, en diseñar sistemas capaces de ejecutar tareas repetitivas y capaces de controlar operaciones sin la ayuda de un operador humano.

Los robots comenzaron a aparecer en este proceso de automatización industrial junto con las computadoras en los años 40. Estos robots computarizados estaban equipados con microprocesadores capaces de procesar la información que les proveían sensores y sobre esa base cambiar o mantener una operación en ejecución, a esto se llama retroalimentación y forma parte de la Cibernética. La retroalimentación es esencial en muchos mecanismos de control automático ya que ayuda a controlar factores externos que afectarían la operación normal del sistema.

Con el desarrollo de la computación, el campo de la Robótica evolucionó, se observó que usando esta herramienta los robots podrían realizar tareas complejas, inclusive podrían aprender de su entorno y de esa manera mejorar su funcionamiento.

El campo de la robótica móvil está en camino de desarrollo suficiente en el país. Considerando que hoy y en el futuro la industria deberá automatizar sus procesos, en estos se pueden añadir

robots que realicen trabajos tediosos y repetitivos para el ser humano. Tomando en cuenta que los sistemas de este tipo foráneos tienen costos muy elevados, se ha pensado en desarrollar sistemas similares pero de fabricación nacional a costos más accesibles.

A fin de cumplir los objetivos generales planteados en el presente proyecto, que busca emplear ultrasonido para detectar orificios en la tubería de transporte de crudo, se revisa a continuación la teoría de ultrasonido.

1.1 EL ULTRASONIDO

El sonido se origina por las vibraciones de un cuerpo elástico. Se crea por ondas que se propagan a través de un medio que puede ser líquido, gaseoso o sólido, por lo que es indispensable un medio transmisor para que exista sonido. El sonido llega a nosotros gracias a que las partículas que componen el aire vibran y transmiten sus ondas.

Para entender el concepto de onda sonora, por analogía se puede comparar con una onda que se produce en una cuerda si está sometida a un movimiento ondulante. Si se toma una foto a la cuerda en un instante inicial (t1), se puede observar que un punto de la misma tendrá un valor de posición dado (d1). Ahora bien, si transcurrido un instante (t2) se le toma otra foto, se observará que dicho punto estará ubicado en otra posición (d2), o sea que hubo un desplazamiento de partículas, representado en Figura 1.1. El tiempo que transcurre para que el punto desplazado regrese a su posición original es el periodo "T" de la onda y el inverso del periodo de esta es la frecuencia (F = 1/T).

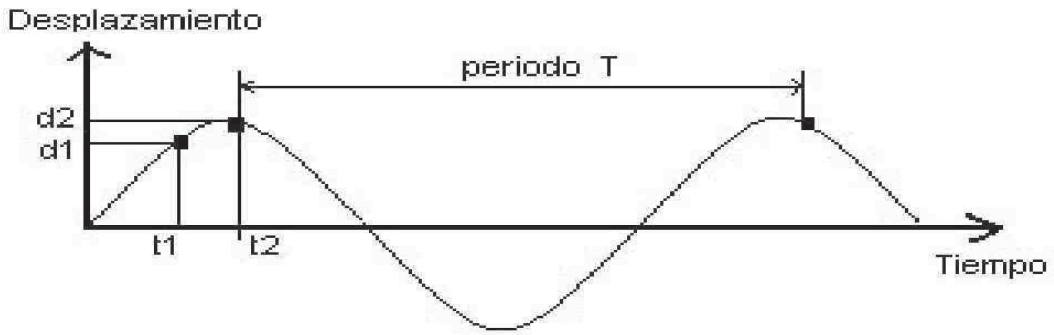


Figura 1.1 Desplazamiento de partículas en función del tiempo

PRINCIPIOS GENERALES DEL ULTRASONIDO

El termino ultrasonido hace referencia a vibraciones de un medio material, similar a lo que ocurre con las ondas sonoras, con la diferencia de que la frecuencia es más elevada, tal que no es posible su percepción por el oído humano. Se la considera idealmente mayor a los 20KHz que es el límite superior de audio frecuencia (AF). En la realidad, este límite disminuye conforme una persona aumenta de edad o debido al abuso del oído al frecuentar lugares o estar expuestos a sonidos muy altos.

El límite inferior de las audio frecuencias es aproximadamente 20 vibraciones por segundo (20 ciclos/seg). Un sonido de menor frecuencia no es percibido por los seres humanos. A este tipo de sonido cuya frecuencia es menor a 20 ciclos/seg se llama infrasonido.

Resumiendo, los sonidos cuya frecuencia es muy alta; es decir, aquellos que pasan de 20,000 ciclos/seg, reciben el nombre de **ultrasonido** y no son captados por el ser humano, como se observa en la Figura 1.2. Los ultrasonidos pueden ser producidos al aplicar una tensión eléctrica alterna sobre placas de cuarzo.

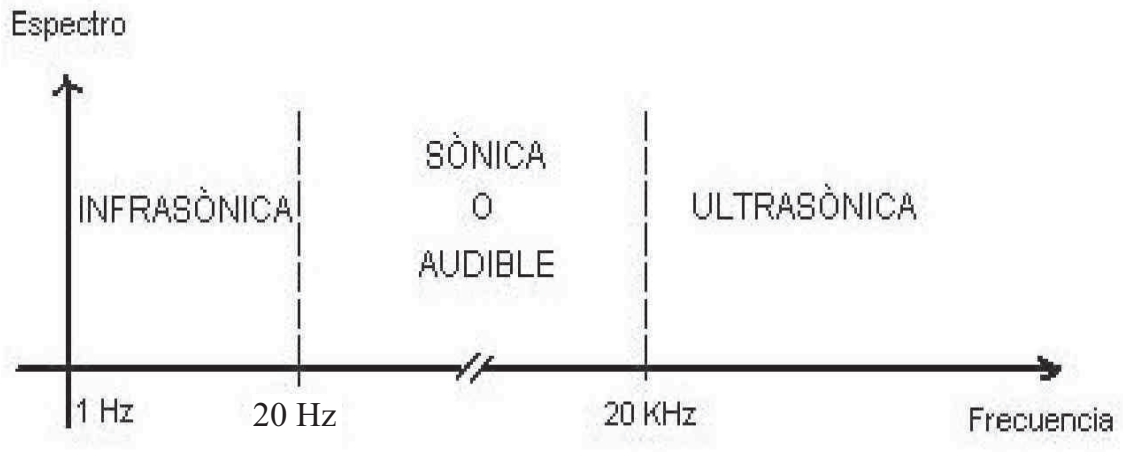


Figura 1.2 Rangos de sonido

Los primeros trabajos sobre el límite superior de audición se llevaron a cabo con generadores ultrasónicos en forma de silbatos que se habían desarrollado a partir de tubos de órgano; la detección se la hacía con llamas sensibles. Sin embargo, el desarrollo de modernos

generadores, detectores ultrasónicos y toda la tecnología actual proviene del aprovechamiento de la piezoelectricidad secundada por técnicas electrónicas modernas.

Las principales características del ultrasonido son:

-Amplitud (A).- Es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de cero, representado en la figura siguiente.

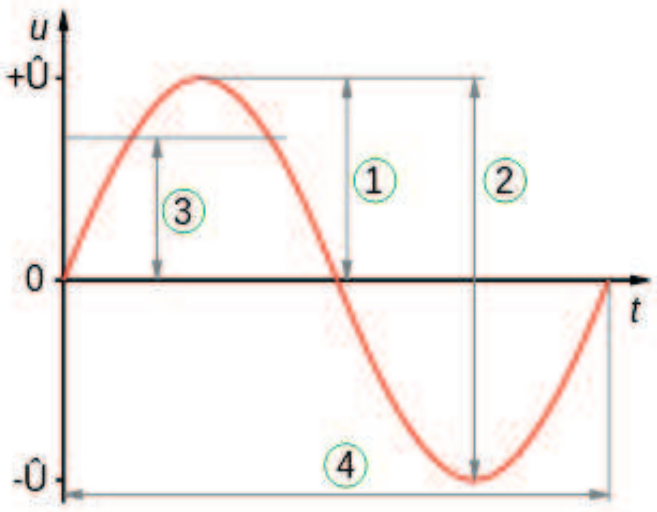


Figura 1.3 Onda sinusoide

1 = Amplitud
2 = Amplitud de pico a pico
3 = Media cuadrática
4 = Periodo

-Frecuencia (F).- Se define como el número de veces que ocurre un evento repetitivo (ciclo) por unidad de tiempo. Su unidad es el Hertz.

-Longitud de onda (λ).- Es la distancia ocupada por una onda completa y es igual a la distancia a través de la cual se mueve la onda por periodo de ciclo.

-Velocidad de propagación o velocidad acústica (V).- Es la velocidad de transmisión de la energía sonora a través de un medio.

-Impedancia acústica (Z).- Es la resistencia de un material a las vibraciones de las ondas ultrasónicas. Es el producto de la velocidad máxima de vibración por la densidad del material.

1.2 GENERADORES Y RECEPTORES DE ULTRASONIDO

Los transductores de ultrasonido son el medio por el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Operan sobre el efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales, cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan un voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.

Existen los siguientes tipos de ondas:

- Ondas longitudinales.- Los desplazamientos de las partículas son paralelos a la dirección de propagación del ultrasonido.

- Ondas transversales.- Los desplazamientos de las partículas son perpendiculares a la dirección del haz ultrasónico.

- Ondas superficiales o suelo.- Pueden ser de naturaleza mecánica o electromagnética. En la física, una onda de superficie es una onda mecánica que se propaga a lo largo de la interfase entre medios diferentes, por lo general dos fluidos con diferentes densidades. Una onda de superficie también puede ser una onda electromagnética guiada por un índice de refracción gradiente.

Los parámetros que deben ser controlados en un sistema ultrasónico son:

- Sensibilidad.- Es la capacidad de un transductor para detectar discontinuidades pequeñas.

- Resolución.- Es la capacidad para separar dos señales cercanas en tiempo o profundidad.

- Frecuencia central.- Los transductores deben trabajar a una frecuencia específica para obtener un rendimiento óptimo.

- Atenuación del haz.- Es la perdida de energía de una onda ultrasónica al desplazarse a través de un material. Las causas principales son la dispersión y la absorción.

- Reflexión.- Es la cantidad de energía ultrasónica que es reflejada al incidir en una interface acústica.

- Ley de reflexión.- El ángulo de onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente de la misma especie.

- Refracción. - Se lleva a cabo cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro, siendo su velocidad del medio diferente entre sí y cambia la dirección en relación con la dirección de incidencia.

- Ley de refracción.- El cambio de dirección de la onda refractada, acercándose a la normal a su superficie de separación de ambos medios, depende de la velocidad del sonido en el segundo medio; esto es, si es menor o mayor que en el primer medio, como se observa en la Figura 1.4.

$\text{sen}\theta 2/V2 = \text{sen}\theta 1/V1$

V1 = Velocidad del medio 1 $\theta 1$ = Ángulo de incidencia

V2 = Velocidad del medio 2 $\theta 2$ =Ángulo de refracción

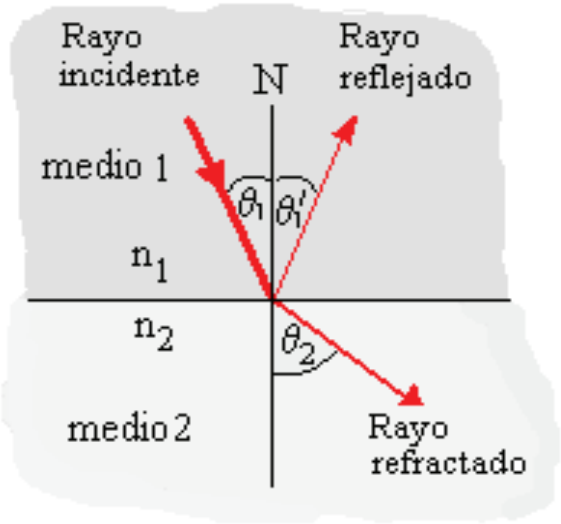


Figura 1.4 Ley de refracción

1.2.1 Características de Materiales Usados Como Transductores

Los cristales transductores son titanato de bario o cuarzo, y estos están cortados de tal manera que producen la máxima vibración o sensibilidad en una dirección dada. Los cristales están metalizados en caras opuestas para conseguir contactos eléctricos, y pueden ser usados como transmisores o receptores de ondas de ultrasonidos.

Tabla 1.1 Características de materiales usados como transductores

MATERIAL	EFICIENCIA COMO TRANSMISOR	EFICIENCIA COMO RECEPTOR	SENSIBILIDAD	PODER DE RESOLUCIÓN	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS
Cuarzo	Mala	Mediana	Escasa	Optima	Buena
Sulfato de litio	Mediana	Buena	Buena	Optima	Soluble en agua
Titanato de bario	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Frágil
Metaniobato de bario	Buena	Mediana	Optima	Optima	Buena
Zirconato titanato	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Buena

1.2.2 Selección del transductor

La selección del transductor es crítica para la aplicación. Esta debe hacerse sobre la base de los parámetros siguientes:

1.3.2.1 Clase de cristal.- Con la elección de cada clase de cristal se puede variar el poder resolutivo y la sensibilidad de los transductores.

1.3.2.2 Diámetro del cristal.- Entre mayor sea el diámetro del cristal se obtiene una mayor profundidad de penetración; asimismo, una mayor longitud en un campo cercano y una menor divergencia.

1.3.2.3 Frecuencia.- Con la elección de una mayor frecuencia se obtiene mayor posibilidad para la identificación de discontinuidades pequeñas, mayor longitud de campo cercano, mayor poder resolutivo y menor profundidad de penetración.

1.3.4 Características de los materiales piezoeléctricos

Los materiales piezoeléctricos son aquellos que al ser sometidos a una fuerza mecánica, llámese golpes torceduras, deforman su estructura y causan una polarización eléctrica (los cristales son los elementos típicos; regularmente, los sensores de ultrasonido están compuestos de cristales de cuarzo), además, si se deja de aplicar esta fuerza mecánica tienden a recuperar

su forma inicial; por tanto, al aplicar la fuerza mecánica, a una frecuencia dada, el material generará un tensión oscilatoria, a la misma frecuencia llamada frecuencia de resonancia.

1.3.4.1 Cuarzo.- Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características como: estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento. Desdichadamente sufre interferencias en el modo de conversión (es decir cuando convierte energía eléctrica en energía acústica) y es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550 °C, a temperaturas superiores de esta pierde sus propiedades piezoeléctricas.

1.3.4.2 Sulfato de litio.- Este material se considera como uno de los receptores más eficientes. Su ventaja principal en su facilidad de obtener una amortiguación acústica optima lo que mejora el poder de resolución, no envejece y es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión. Sus desventajas son: muy frágil, soluble en agua y se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.

1.3.4.1 Cerámicas polarizadas.- Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad y algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300 °C. Sus principales limitaciones son: resistencia mecánica relativamente baja, en algunos casos existe interferencia en el modo de conversión, presentan tendencia al envejecimiento. Además poseen menor dureza y mayor resistencia al desgaste que el cuarzo.

En la Tabla 1.2 se describe las ventajas y desventajas de los materiales Piezoeléctricos.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de los materiales piezoeléctricos

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CUARZO	Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento.	Sufre interferencias en el modo de conversión. Es de menor eficiencia que los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550°C.

SULFATO DE LITIO	Receptor más eficiente. Facilidad de obtener una amortiguación acústica optima. Mejor poder de resolución. No envejece. Es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión.	Es muy frágil y soluble en agua. Se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.
CERÁMICOS POLARIZADOS	Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad. Algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300 °C.	Resistencia mecánica relativamente baja, en algunos casos existe interferencia en el modo de conversión. Presentan tendencia al envejecimiento. Además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.
TITANATO DE BARIO	Es un buen emisor debido a su elevado modulo piezoeléctrico.	Problemas de acoplamiento y amortiguación. Su empleo está limitado a frecuencias menores de 15 MHz, debido a su baja resistencia mecánica y alta impedancia acústica. Presenta interacción entre varios modos de vibración. La temperatura de su punto curie es de 115-150 (transición cristalográfica).
METANIOBATO DE BARIO	Presenta un módulo piezoeléctrico elevado lo que lo califica como buen emisor. Posee excelente estabilidad térmica, similar al cuarzo, lo que le permite ser empleado a altas temperaturas. Posee un elevado coeficiente de amortiguación interna, por lo que se considera como el mejor material para generar impulsos cortos.	Presenta una baja frecuencia fundamental y una mala resistencia mecánica, por lo que se aplica principalmente a frecuencias altas. Presenta interacción entre varios modos de vibración.
ZIRCONATO TITANATO DE PLOMO	Se considera como el mejor emisor por su alto modulo piezoeléctrico.	Sin embargo, es él más difícil de amortiguar por su alto coeficiente de deformación. Se recomienda su empleo cuando existen problemas de penetración

1.4 APLICACIONES MÁS FRECUENTES DEL ULTRASONIDO

Técnicas basadas en la medida de velocidades acústicas y coeficientes de absorción se han desarrollado ampliamente en aplicaciones de la industria, la investigación y la medicina aplicada. Por ejemplo, los métodos de medida de velocidad se han adaptado para la localización de defectos en materiales, medidas de espesores, determinación de constantes elásticas y calculo de concentraciones de disoluciones. Las técnicas utilizadas en la medida de la absorción se han aplicado al grado de dureza de metales, determinación de tamaños de granos en materiales policristalinos, medida de presiones de gases y diferenciación entre tejido maligno y sano en la materia viva.

Una de las técnicas mayormente empleadas en ultrasonidos es la del impulso-eco cuya aplicación a la medición de distancias consiste en suponer conocida la velocidad del ultrasonido en un medio, y se mide el tiempo que le toma a un pulso de ultrasonido de corta duración en ir, rebotar y regresar su eco, se puede determinar la distancia a la cual se encuentra el objeto con el cual choco el ultrasonido, multiplicando la velocidad en el medio por el tiempo empleado y dividiéndolo para dos **(d=1/2 c*t).** Una vez que el pulso ha terminado su viaje de ida y ha regresado su eco, puede repetirse el proceso con otro pulso. El intervalo entre pulsos sucesivos se denomina **frecuencia de repetición de los pulsos**, que debe ser superior al tiempo **t**, pues en otro caso habría una ambigüedad sobre que eco correspondería a determinado impulso.

Las principales aplicaciones del ultrasonido son:

1.4.1 Inspección no destructiva

Los Ensayos No Destructivos (END) agrupan una diversidad de métodos que permiten obtener una información muy amplia sobre las propiedades, estructura, presencia de discontinuidades y dimensiones de un material o de una pieza, sin alterar sus condiciones de servicio. Las técnicas de evaluación no destructiva pueden ser aplicadas para:

• Análisis dimensional de piezas.
• Detección, identificación y dimensionamiento de discontinuidades.
• Caracterización de materiales.
• Control de calidad de procesos industriales y de fabricación de materiales.
• Evaluación de la condición de un componente para determinar su continuidad en servicio.

Basándose en los requerimientos específicos de las diversas aplicaciones que tienen los ensayos no destructivos se han desarrollado diversos métodos, los cuales pueden ser agrupados desde varios puntos de vista. Una de las clasificaciones con gran aceptación se basa en la complejidad y facilidad de empleo de los ensayos no destructivos;

Esta clasificación es:

• Ensayos no destructivos convencionales: Inspección visual, líquidos penetrantes, ensayo de fuga, partículas magnéticas, corrientes inducidas, radiografía industrial, gammagrafía y ultrasonido.
• Ensayos no destructivos no convencionales: Ensayo de vibraciones, emisión acústica, radiografía por neutrones, holografía óptica, holografía acústica y tomografía industrial.

Los métodos de ensayo no destructivo son complementarios entre sí, por lo que no existe un solo método para una aplicación específica reúna toda la información requerida. Esta afirmación es aplicable principalmente en el caso de los estudios de defectos y fallas.

Los ensayos no-destructivos se basan en la medición de las propiedades de los materiales, y en el caso de los ultrasonidos lo que se busca es establecer relaciones entre los diferentes parámetros de las constantes de propagación y la existencia de posibles defectos en un material. Las propiedades que se miden son de diferente índole y van desde la ecogenicidad (capacidad de producir ecos) para formar imágenes hasta la determinación de constantes elásticas, a veces mediante el estudio de modos de propagación complejos.

1.4.2 Medicina

Desde que en 1949 se usó ultrasonido (Modo A) en exploraciones diagnósticas abdominales, la ecografía ha experimentado importantes avances tecnológicos como el desarrollo de la imagen bidimensional (Modo B) desde 1952; el perfeccionamiento de la escala de grises que ha mejorado la caracterización de los tejidos blandos por su diferente densidad sónica, ha permitido que la ecografía se haya transformado en una herramienta útil y aceptada por todos en la práctica obstétrica habitual.

En ginecología, sólo en el último tiempo ha aumentado su uso, considerando que se trata de un procedimiento no invasivo, sin contraindicaciones. Este avance ha sido especialmente notorio

con la aparición de equipos de ultrasonido digitales, de imagen bidimensional estática, de mayor poder de resolución, y claridad de imagen.

Actualmente, el ultrasonido puede mostrar anatomía pelviana normal; presencia de tumores y su caracterización en tamaño, localización, consistencia, relaciones, etc., además que ofrece información valiosa sobre cambios estructurales ováricos fisiológicos en el ciclo menstrual normal y en problemas endocrinológicos.

Pueden detectarse múltiples e incontables enfermedades ya que se pude usarlo a través de la cabeza únicamente en recién nacidos para conocer su cerebro, en los ojos para demostrar cataratas, en los senos paranasales de niños para sinusitis exudativa, en el cuello para la tiroides o tumores, en el corazón para demostrar cardiopatías congénitas en bebes y adquiridas en adultos. Casi todos los órganos del abdomen pueden verse, actualmente. En los servicios de urgencias se detectan apendicitis en fase temprana, piedras en vesícula, riñones, conductos, tumores en páncreas, hígado, pelvis, enfermedades en la matriz y los ovarios de la mujer, defectos congénitos en el embrión y el feto, etc.

1.4.3 Ingeniería e industria

Un área de la robótica en la cual se ha realizado una amplia investigación en los últimos años es la navegación de robots móviles en ambientes industriales y domésticos. En este tipo de problemas se desea que los robots sean capaces de manipular objetos y llevarlos de una posición a otra dentro de un medio ambiente. Para detectar los obstáculos del medio ambiente los robots pueden utilizar sensores de tacto, ultrasonido, infrarrojo o cámaras de vídeo. Otro campo para la utilización de ultrasonido es en los procesos donde se quiere medir caudal.

1.4.3.1 Industria química.- Medición no invasiva en medios agresivos/venenosos. Medición en producción de medios no conductivos. Control de Flujo móvil durante puestas en marcha y procesos de diagnóstico.

1.4.3.2 Industria petroquímica.- Control de fugas en cañerías con reconocimiento de interfaces.

1.4.3.3 Exploración de petróleo.- Medición en producción con presión.

1.4.3.4 Industria farmacéutica/fabricación de chips.- Medición en producción de medios limpios.

1.4.3.5 Industria de alimentos y bebidas.- Medición de medios sin contacto, en forma higiénica. CIP, SIP y esterilización con vapor

1.4.3.6 Administración de aguas y desagües.- Medición en cañerías de gran tamaño, durante el proceso. Medición de distribución y consumo.

1.4.3.7 Centrales eléctricas.- Medición en proceso de agua fría, agua de calderas, condensado y circuitos térmicos.

1.4.3.8 Sonda batimétrica por Ultrasonido (Radar): Los ultrasonidos se aplican también para detectar objetos que se encuentran en las profundidades del mar.

1.4.3.9 Medición de Distancia por Ultrasonido (objetivo y análisis de este proyecto)

1.5 DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

El propósito del proyecto es obtener un sistema que tenga la capacidad de detectar un orifico en una tubería, enviar esta información hacia un computador personal y mostrarlo en el mismo. A fin de cumplir con este propósito la alternativa propuesta es la de usar transductores piezoeléctricos por la facilidad que estos presentan para la generación y detección del ultrasonido. La forma de detectar el orifico en la tubería seria por medio del método impulso-eco; es decir, midiendo el tiempo que toma la señal de ultrasonido generada en el transductor emisor en ir, rebotar en la superficie del tubo y regresar al transductor receptor.

En consecuencia, por medio de la diferencia entre el diámetro del tubo y esta distancia se ubicaría el orificio. Por otro lado, midiendo la velocidad del prototipo mientras se desplaza por el interior de la tubería se podría determinar el tamaño del orificio.

CAPITULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

En este capítulo se tratará sobre el diseño e implementación del sistema de ultrasonido para la detección de orificios y comunicación con el computador; diseño del circuito para control del carro y alimentación del sensor de ultrasonido; y diseño y construcción de la interfaz de comunicación.

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Durante el diseño se consideró la necesidad de implementar una parte móvil que permita al sensor transmisor-receptor de ultrasonido desplazarse interiormente a lo largo de la tubería. Al mismo tiempo, leer los datos enviados por el sensor, y a estos transmitirlos mediante comunicación serial al microcontrolador que se encuentra estático.

El diseño se representa en la Figura 2.1

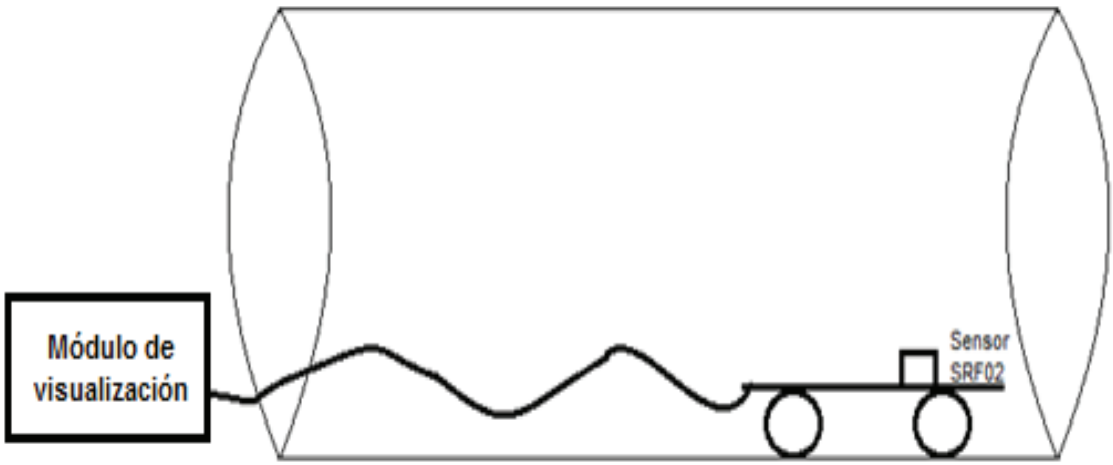


Figura 2.1 Esquema general del diseño de la etapa emisora y receptora

En la Figura 2.1 se observa que el sensor está en una plataforma móvil y el microcontrolador que lo controla permanece estático. Al móvil se lo diseño para que pueda ingresar en la tubería utilizada para la prueba con un diámetro de 56cm. Este diámetro se

seleccionó tomando en consideración las tuberías que típicamente se emplean en la Industria Petrolera para el transporte de fluidos.

Resumiendo, el prototipo constará de dos partes fácilmente distinguibles que son una etapa fija llamada de visualización y de control y la otra es la plataforma móvil. Estas dos partes están armadas en dos placas distintas, la primera es utilizada para mostrar los datos que vienen desde el sensor de ultrasonido en un LCD y la otra es para transportar el sensor SRF-02 a lo largo de la tubería que se va a sensar para verificar la existencia de orificios o descartar la presencia de los mismos, como se observa en la Figura 2.2. Además de las partes antes mencionadas, la etapa de visualización y control se conecta al computador por medio de una tarjeta de adquisición de datos. Adicionalmente se utilizará diferentes fuentes de alimentación para su funcionamiento.

Consecuentemente, el proyecto consiste básicamente de cuatro etapas funcionales que son las siguientes:

- **Plataforma móvil para el transporte del sensor de ultrasonido SRF02,** en la que se incluye los circuitos para mover a esta plataforma.
- **Etapa de visualización y control del móvil.**
- **Tarjeta de adquisición de datos y de envío hacia el computador.**
- **Fuentes de alimentación**

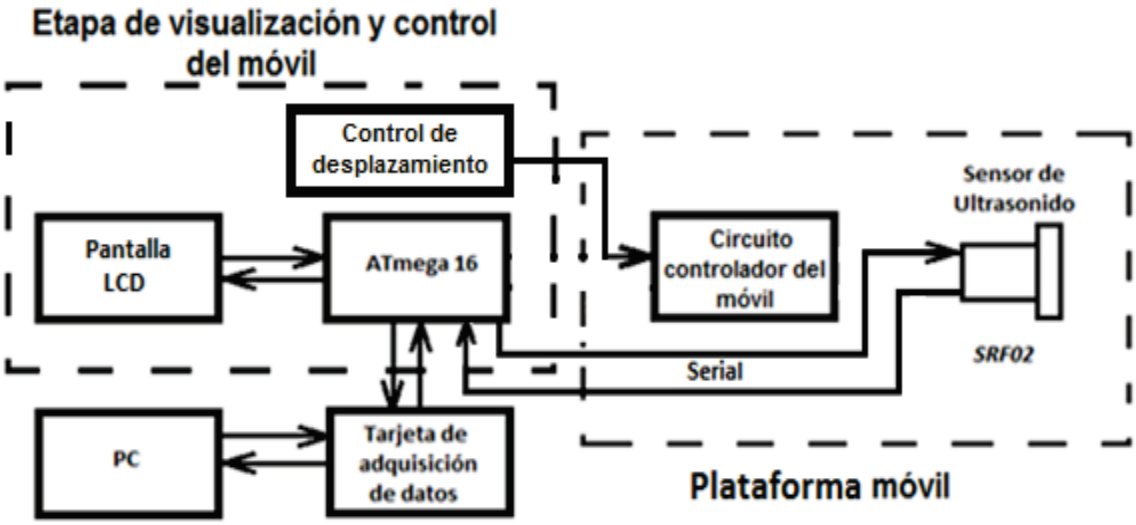


Figura 2.2 Diagrama funcional del sistema

Con el propósito de controlar el funcionamiento del circuito electrónico que alimenta al transductor emisor de sonido, la detección de la señal ultrasónica de regreso obtenida por el transductor receptor, medición del tiempo que demora la señal de ultrasonido en su viaje de ida y regreso, y para el envió de datos hacia el computador se utilizó el microcontrolador ATMEGA16 debido a su facilidad para comunicarse mediante interfaz serial y capacidad de procesamiento que sirvieron para múltiples funciones, tales como conversión AD, uso de varios puertos, etc.

La señal que permite calcular la distancia es generada por el sensor de ultrasonido SFR02. Este valor será enviado hacia un micro controlador (ATMEGA16), que se encargará de ponerlo en un LCD y de enviar un dato de 8bits al computador mediante una tarjeta de adquisición de datos. El PC procesará esta información y permitirá visualizar en la pantalla cuando aparece un orificio en la tubería. Estos datos podrán ser almacenados en el computador para una posterior revisión. El tamaño del orificio es fácil de calcular si se dispone de la velocidad del carro que transporta al sensor y el tiempo que transcurre durante la detección de la falla. El programa que realiza esta tarea se desarrolló en LabView.

2.1.1 PLATAFORMA MÓVIL PARA EL TRANSPORTE DEL SENSOR DE ULTRASONIDO SRF02

En esta etapa se incluyen los circuitos para mover la plataforma y para alimentar al sensor de ultrasonido.

Se diseñó una placa con los circuitos necesarios para lograr el desplazamiento controlado del móvil y para la comunicación entre el transductor de ultrasonido y el microcontrolador ATMEGA16 ubicado en el módulo de visualización.

La plataforma móvil contiene una fuente de alimentación que funciona a partir de una batería de 9V y que da un voltaje de 5V a todos los elementos de esta placa. En la Figura 2.3 se muestra un esquema de los circuitos que contiene la placa del móvil.

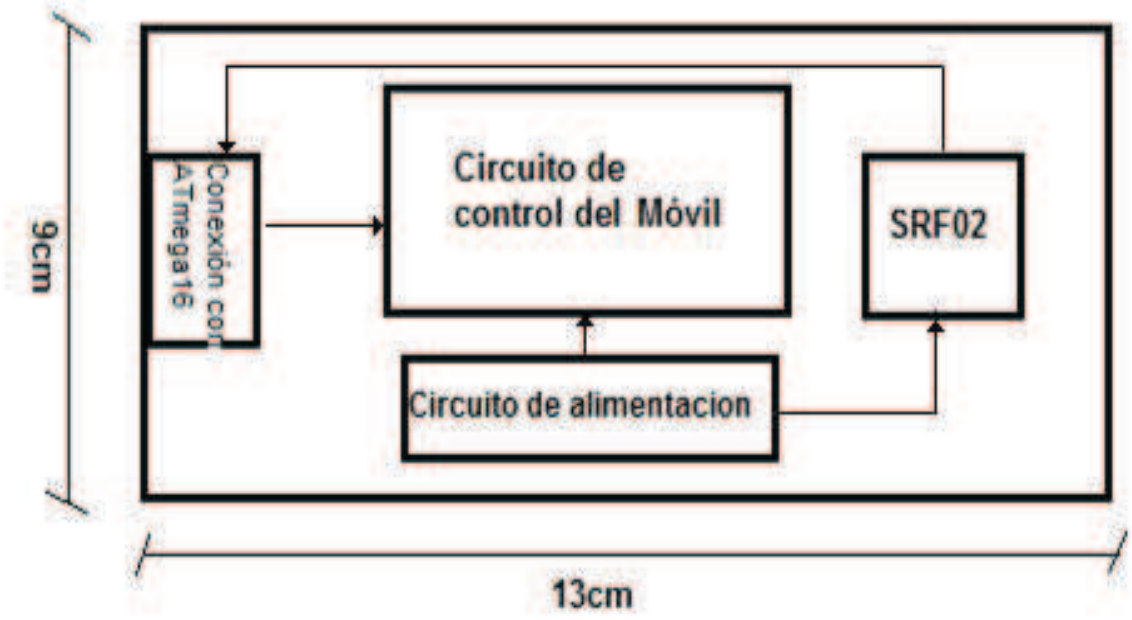


Figura 2.3 Esquema general del diseño de la placa del móvil.

En el esquema se muestra la relación que existe entre los distintos circuitos. Se puede observar que el sensor de ultrasonido se encuentra relacionado con el microcontrolador ATMEGA16.

El control del móvil se efectúa mediante un microcontrolador ATMEGA8 que es parte del circuito de control del móvil, el mismo que recibirá las órdenes de desplazamiento desde la placa que se encuentra estática.

El microcontrolador ATMEGA8 del móvil enviará las señales de control a un circuito integrado que contiene puentes H que permitirán accionar a los motores del móvil. El circuito integrado utilizado para este propósito es el L293 que puede accionar los motores que consumen alrededor de 500mA. En la hoja de datos del Anexo B, se observa que este circuito puede soportar hasta 1A.

El microcontrolador ATMEGA8 del móvil recibirá las órdenes desde unos pulsantes que se encuentran en la etapa de visualización para seleccionar la dirección del movimiento del mismo. La Figura 2.4 muestra la conexión de los diferentes elementos que se encuentran en el circuito de control del móvil.

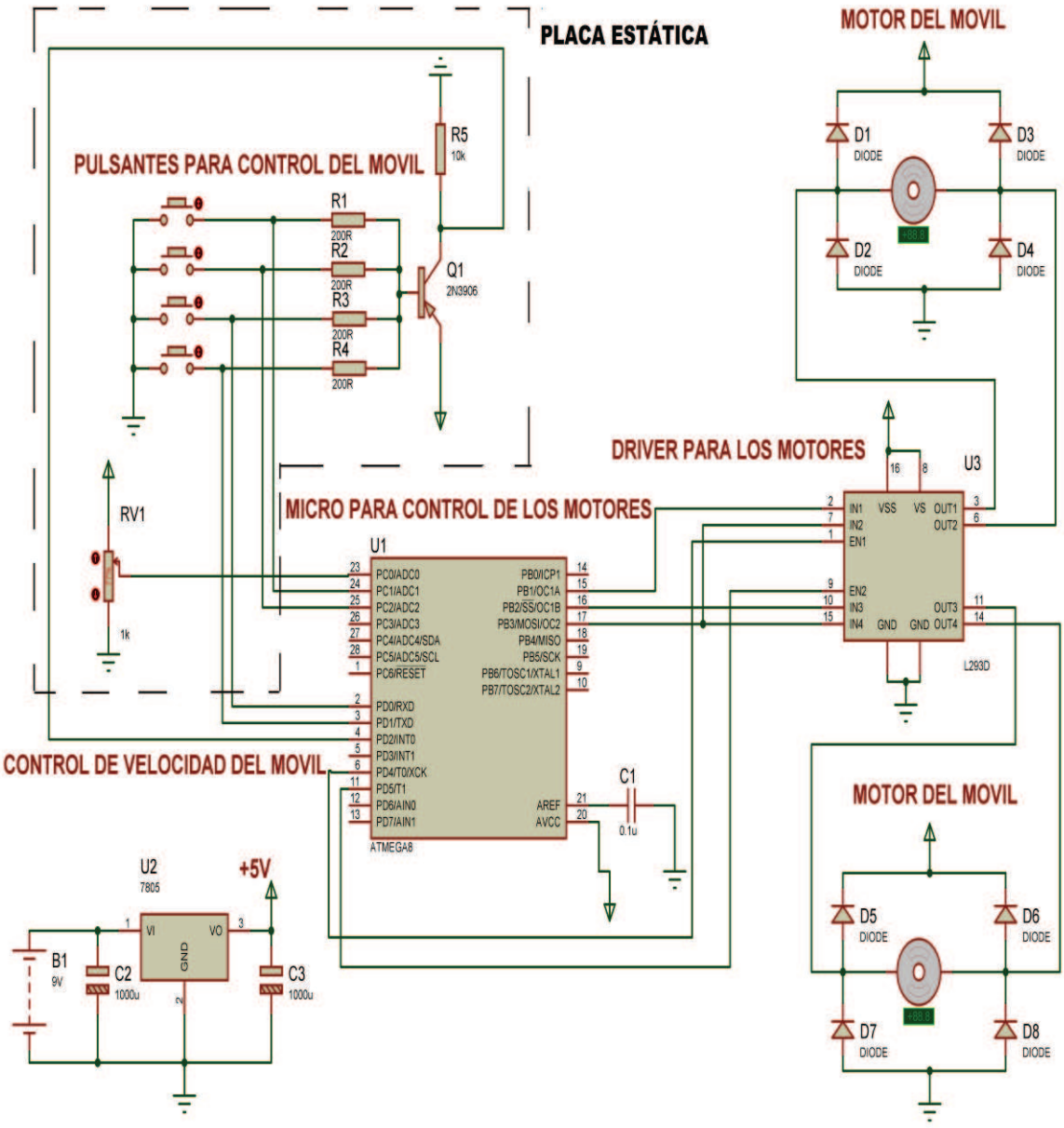


Figura 2.4 Circuito de Control del Móvil

Como se puede observar, en la Figura 2.4 están los elementos de la placa del móvil exceptuando el sensor de ultrasonido. Para mejorar su comprensión, se han colocado los pulsantes que definen la dirección de desplazamiento del móvil, el potenciómetro que servirá para variar la velocidad del móvil (RV1) y la fuente que alimenta a todo el circuito. Cabe recalcar que el potenciómetro se encuentra en la etapa de visualización y desde allí conectado al microcontrolador ATMEGA8 controla la velocidad de desplazamiento del móvil.

En la Figura 2.5 se muestra el diagrama extraído de la hoja de datos del fabricante del circuito integrado L293 en donde se observa cómo debe realizarse la conexión de los motores. Las fuentes Vcc1 y Vcc2 son las mismas utilizadas para polarizar al circuito de control del móvil, cuyo diseño se explica en la Figura 2.5. En el caso de los diodos que se muestran en el circuito se utilizaron los 1N4007 que soportan hasta 1A suficiente para la corriente que requieren los motores.

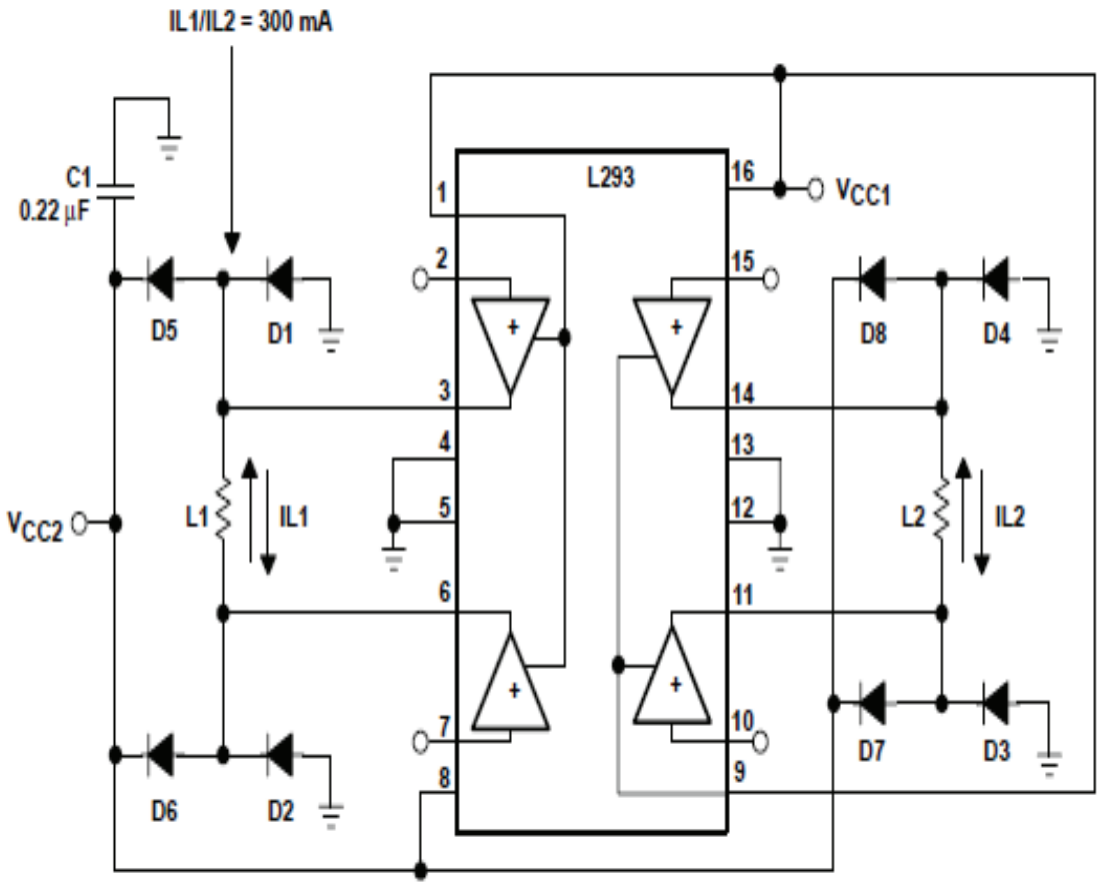


Figura 2.5 Diagrama de conexión del L293[1]

Esta placa se montó en la estructura que permite su transporte por el interior del tubo. El móvil utiliza llantas de caucho y una estructura de plástico para evitar sobrecargar a los motores utilizados.

Debido a que las pruebas se realizaron en un tubo vacío todo el circuito se encuentra descubierto. El diseño se observa en la Figura 2.6.

---

[1]http\\:www.datasheetcatalog.com\L293,L293DQUADRUPLEHALF-HDRIVERS.htm

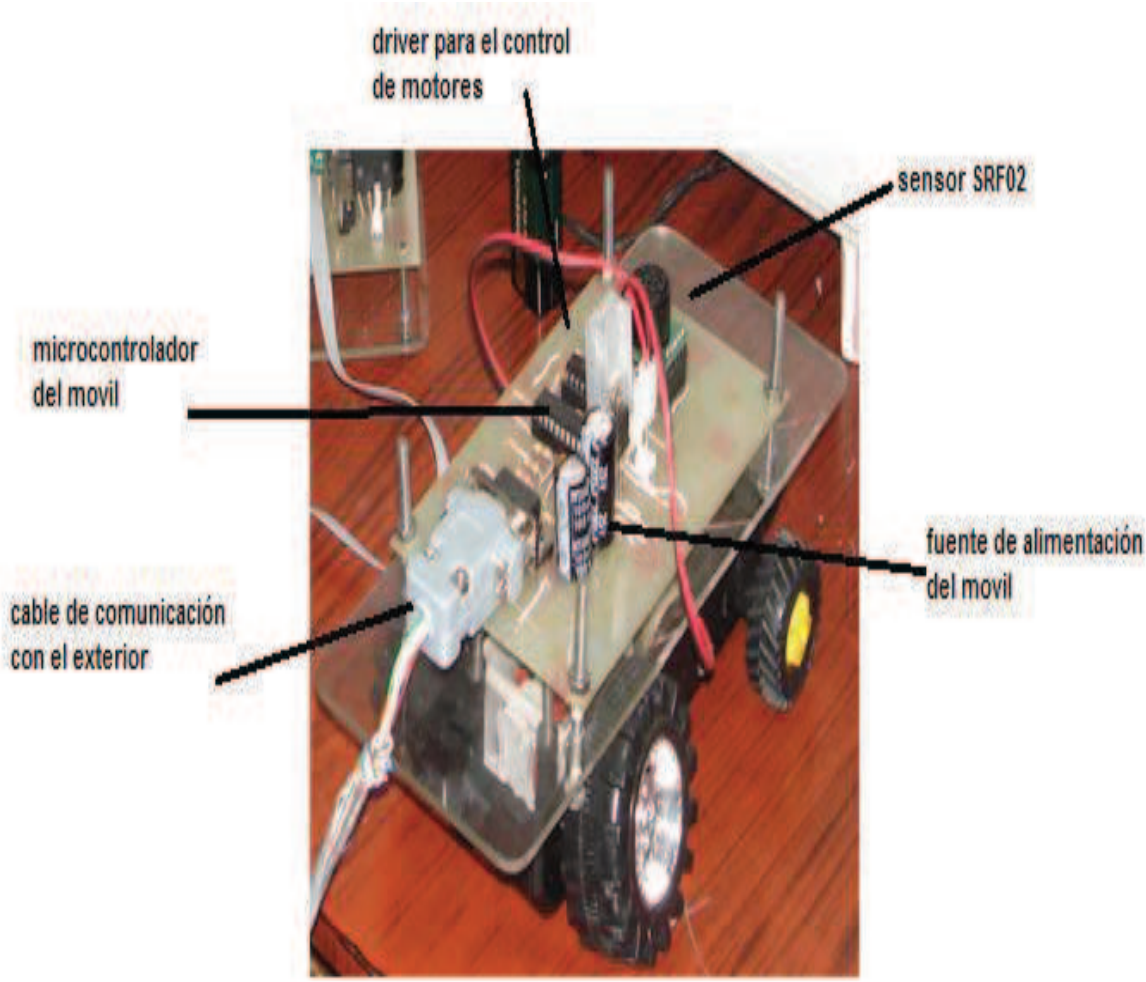


Figura 2.6 Fotografía general del móvil

En razón de que el sensor necesita comunicarse mediante comunicación serial asincrónica y considerando el procesamiento que se debe realizar con los datos, se vió necesaria la utilización del microcontrolador AVR ATMEGA 16, el cual enviará los resultados a un LCD y hacia una tarjeta de adquisición.

La comunicación serial utilizada está configurada a 9600 baudios, 8 bits de datos, 2 bits de parada y sin bits de paridad. Estos datos son especificados por el fabricante. A continuación se observa en la Figura 2.7 una fotografía del módulo resultante.

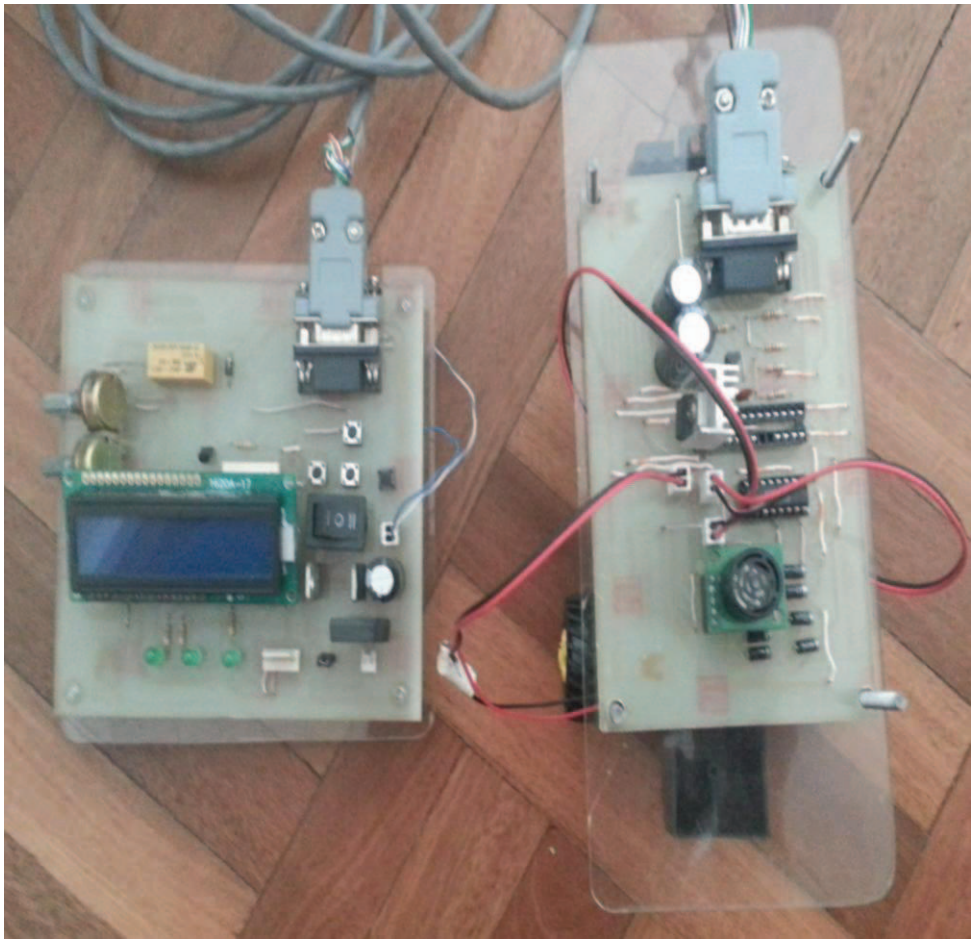


Figura 2.7 Módulos electrónicos de todo el proyecto

2.1.1.1 SENSOR DE ULTRASONIDO SFR02

En la Figura 2.8 se observa los elementos básicos que componen el sistema de control del generador de ultrasonido. Como principal elemento se tiene el sistema de control lógico. Otro elemento importante es el oscilador, el cual oscilará a una frecuencia ultrasónica. Inmediatamente después del oscilador viene el modulador, el cual determinará el número de ciclos entregados por el oscilador. Estos pulsos son amplificados por el amplificador encargado de elevar los pulsos entregados por el modulador a niveles de tensión de trabajo del transductor transmisor. Finalmente se tiene un amplificador receptor, encargado de amplificar el retorno de la señal transmitida (eco). Se complementa con los transductores, el de transmisión encargado de convertir la energía eléctrica en energía sonora, y el receptor, encargado de convertir la energía sonora recibida en energía eléctrica.

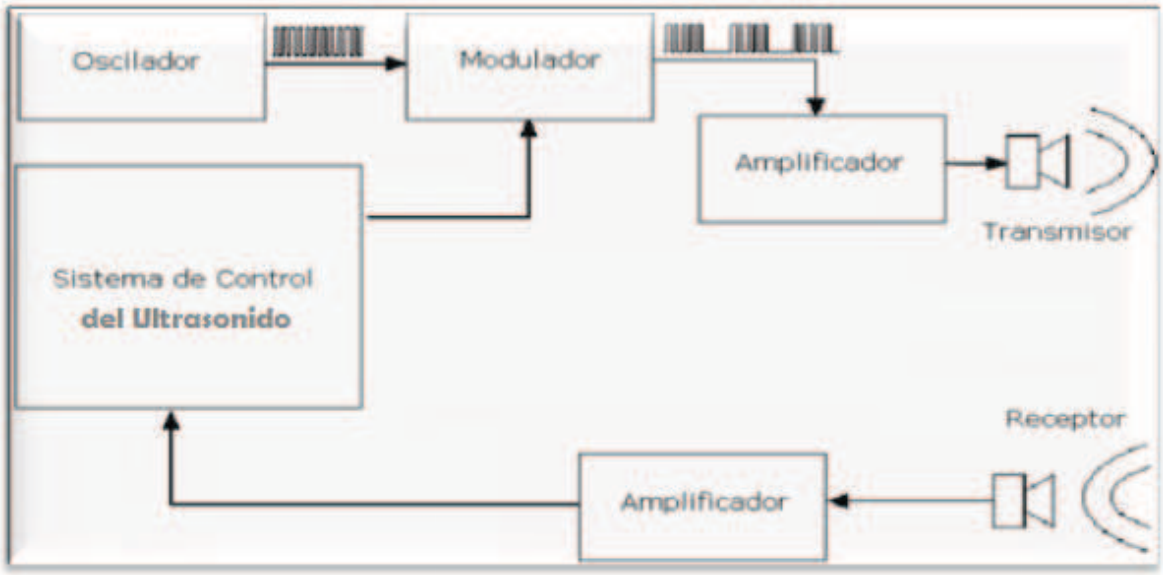


Figura 2.8 Esquema general del sistema del controlador de ultrasonido

El sensor de ultrasonido SRF02 (Figura 2.9), de pequeño tamaño y mínimo consumo, se destaca por tener una interfaz serie y una interfaz I2C (Bus para simplificar la interconexión de dispositivos a un microprocesador). La interfaz serie genera una trama estándar de 9600 baudios formada por un bit de inicio, ocho de datos y un bit de parada. El nivel de tensión que genera es TTL (transistor-transistor logic).

El rango de medidas es de 15 cm a 600 cm. Cada sensor tiene su propia dirección interna, aunque esta se puede cambiar de forma que se pueden tener hasta 16 módulos SRF02 en el mismo bus, ya sea serie o I2C. Las medidas pueden ser en centímetros, pulgadas o microsegundos. La alimentación es de 5V y el consumo medio de 4 mA.

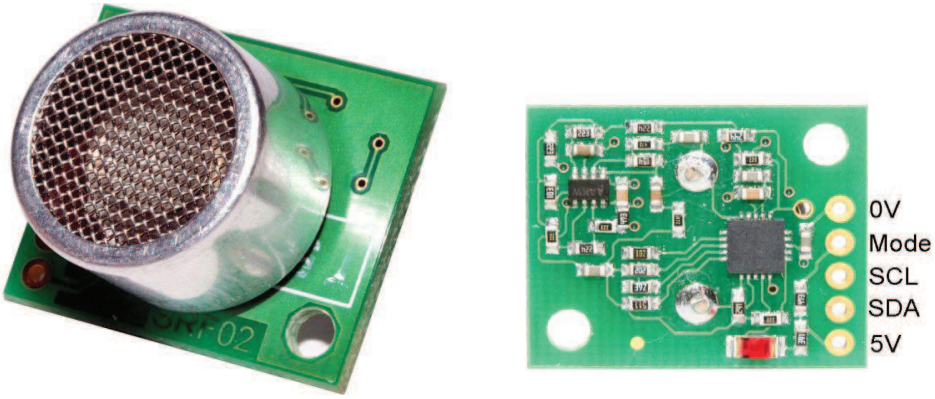


Figura 2.9 Sensor de distancias por ultrasonido SFR02

El sistema de control de este sensor no se diseñó, en razón de que es parte integral del sensor. Lo que se realiza es controlar la generación del ultrasonido mediante el sensor, capturar los datos desde el mismo y enviarlos hasta la placa estática para despliegue en el LCD y en la PC.

2.1.2 ETAPA DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL DEL MOVIL

En esta etapa se incluyen los circuitos y pulsantes que establecen el sentido con el que se moverá el móvil que transporta el sensor y el potenciómetro para establecer la velocidad con que este se transporta. Esta etapa incluye un LCD 2x16 que permite mostrar todos los datos relacionados con la presencia de un orificio.

Cabe aclarar que la interfaz que va hacia el móvil no es el circuito de control del mismo. Como se mencionó anteriormente, el circuito de control (microcontrolador, puentes H, fuente de alimentación) se encuentra en el móvil. Esta interfaz conecta solamente a los pulsantes y potenciómetro que permitirá controlar la dirección y velocidad del móvil, respectivamente. En la Figura 2.10 se observa un esquema general del diseño de esta placa.

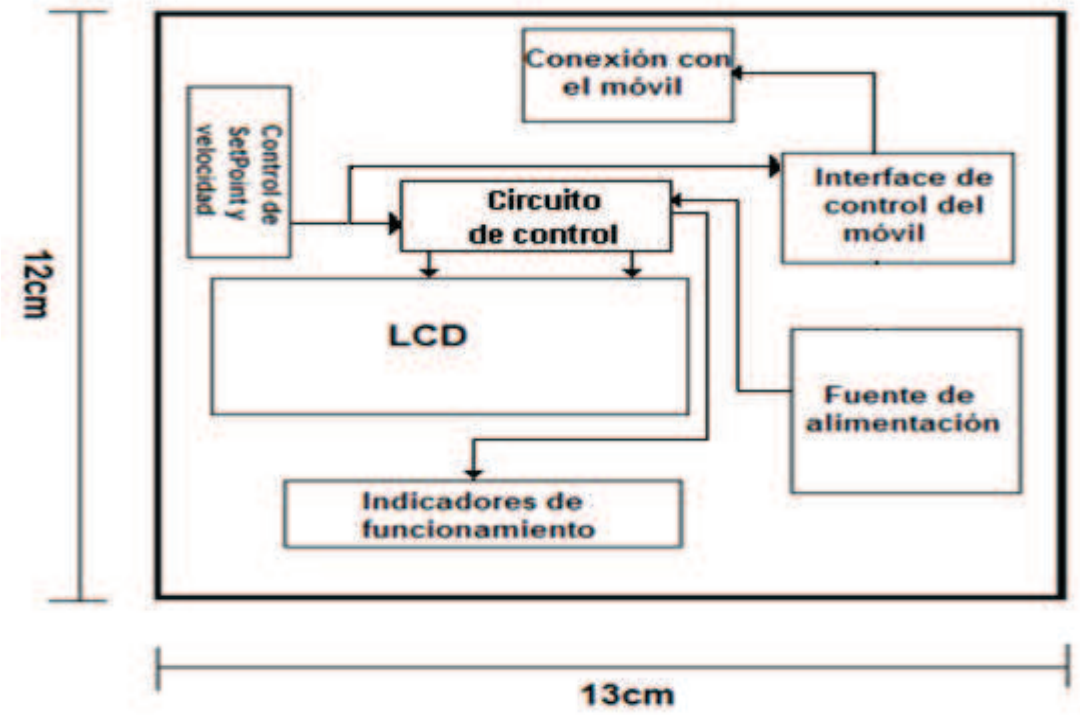


Figura 2.10 Esquema general del diseño de la placa de visualización

Los datos que llegan del sensor de ultrasonido pueden ser visualizados en el LCD. En esta etapa también se incluyó el control y fijación del punto de consigna del sensor de ultrasonido.

En el LCD también se muestra la velocidad del carro que transporta el sensor, la distancia que mide el sensor, el punto de consigna que indicará el límite que debe medir el sensor cuando es detectado un orificio.

En la Figura 2.11 se muestra el diagrama esquemático de los circuitos utilizados en esta etapa con la fuente de alimentación. Esta fuente tiene la posibilidad de trabajar con la energía eléctrica de la red o con una batería de 12V. El transmisor y receptor de comunicación serial van conectados al sensor SRF02, el cual no se encuentra en esta placa; sin embargo, por claridad, se muestra la conexión. Esto quiere decir que el circuito de accionamiento del móvil, que se encuentra en la plataforma móvil, no está relacionado con la comunicación serial entre el microcontrolador ATMEGA16 y el sensor SRF-02 por lo que en esta figura no se menciona a la plataforma móvil.

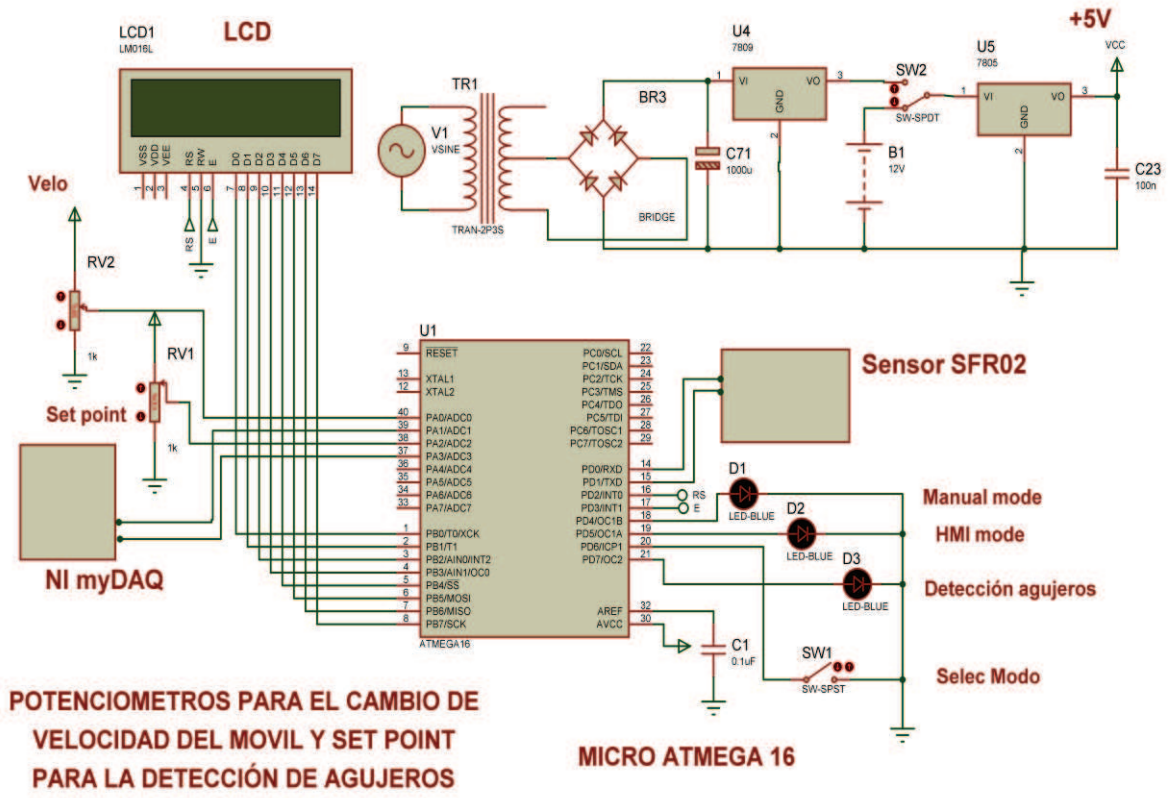


Figura 2.11 Diagrama esquemático de la etapa de visualización

Los potenciómetros RV2 y RV1 sirven para cambiar el punto de consigna de la velocidad del móvil y para variar el punto de consigna de la detección de orificios, respectivamente. Los potenciómetros tienen un voltaje de salida de 0 a 5V debido a que son polarizados con 5V. El valor del potenciómetro es de 20 kohms en razón de que con este valor la corriente que circula por el potenciómetro es mínima.

El valor de velocidad adquirido por la entrada análoga cambia el ancho de pulso del PWM con el que se controla al móvil, mientras que en el caso de la detección de orificios solo varia el valor de un registro con el que se va a comparar. El funcionamiento del programa se explica en el Capítulo 3.

Como se observa en el diagrama, existen dos entradas análogas que van conectadas a la tarjeta de adquisición de datos que permitirán el cambio de la velocidad y punto de consigna por medio del HMI. Una vista en 3D permite ver claramente cada una de las partes de este circuito en la Figura 2.12.

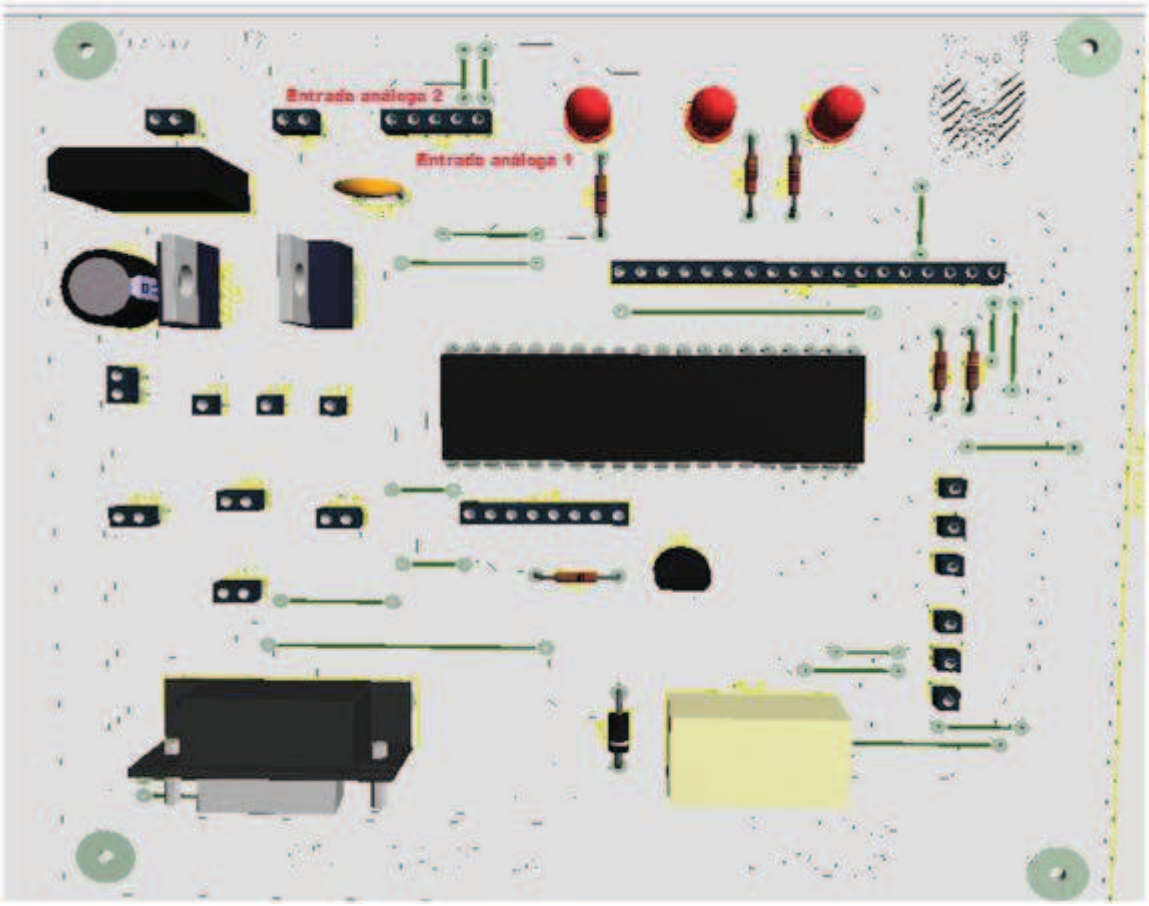


Figura 2.12 Placa del detector de orificios y comunicación con computador

La placa tiene tres indicadores lumínicos que sirven para indicar si el circuito está funcionando desde el computador, o de forma manual desde el circuito, y el tercero se encenderá cuando se detecta un orificio en el tubo. En esta vista en 3D no se muestran ni los potenciómetros ni el LCD debido a que en PROTEUS no existen sus empaquetamientos (Figura 2.13).

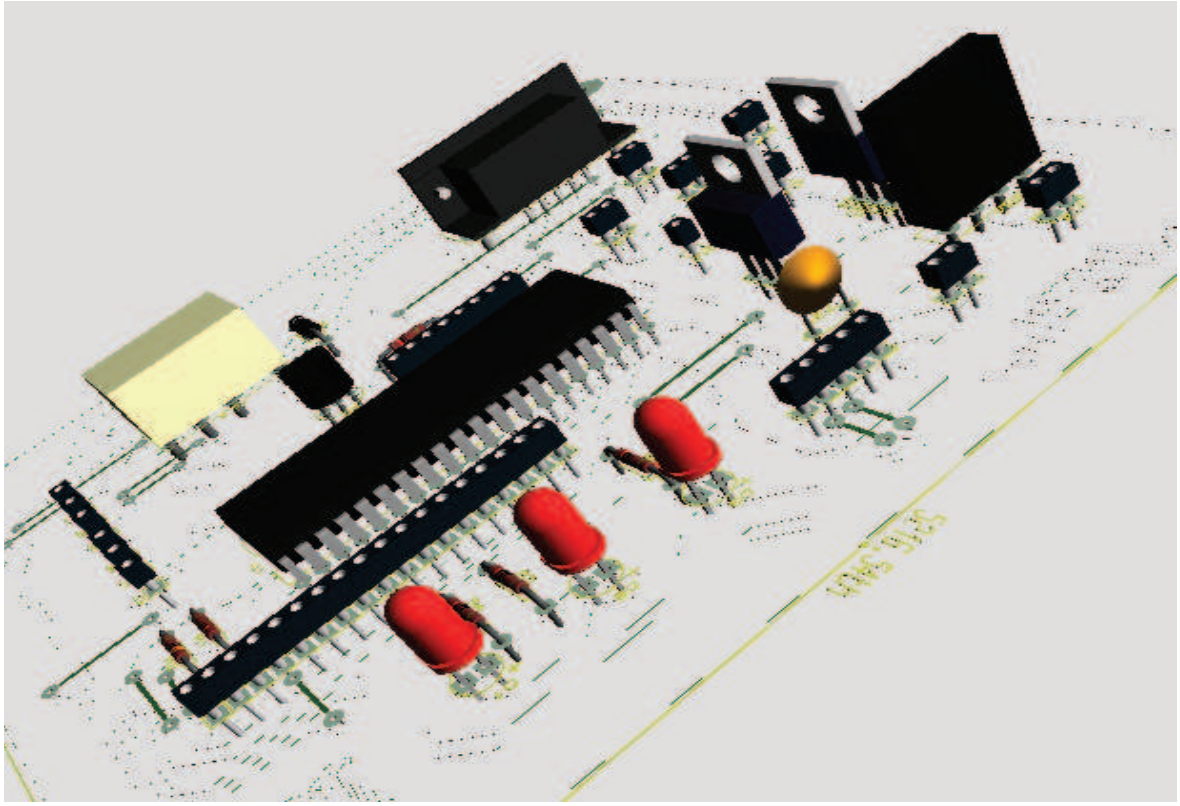


Figura 2.13 Placa con indicadores lumínicos

Estos indicadores lumínicos de color rojo funcionan con resistencias de 330ohms, con el propósito de que no se quemen. Para el cálculo de la resistencia de estos leds se usó la siguiente ecuación considerando que la corriente de los leds debe de ser de 12mA[2].

$$R_{led} = \frac{5 - 1{,}5}{12mA} = 291{,}67ohms \quad \rightarrow \quad 330ohms$$

En la Figura 2.14 se muestra una fotografía con el circuito final de la etapa de visualización.

[2] Wikipedia

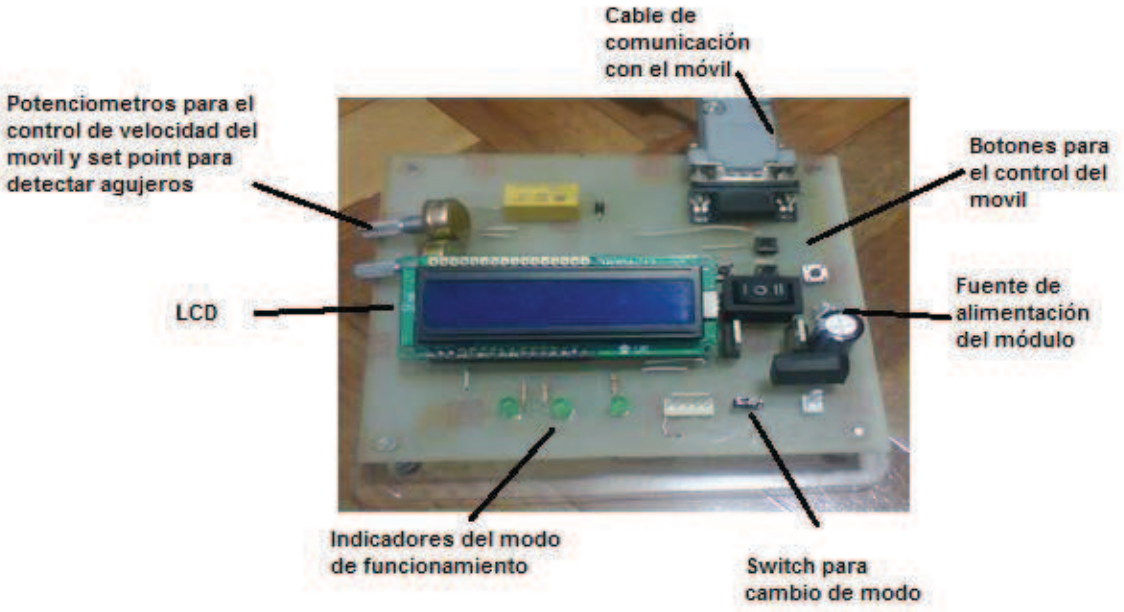


Figura 2.14 Circuito diseñado para la etapa de visualización

2.1.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y DE ENVÍO HACIA EL COMPUTADOR

En el diseño de esta etapa se debe considerar que los datos son obtenidos desde el módulo de visualización como un byte (8bits), para que sean leídos a través de las entradas digitales de una tarjeta de adquisición de datos. También se decidió que desde el computador se debía poder modificar el valor del punto de consigna para la detección de orificios por lo que es necesario transmitir este valor a través de una salida análoga de la tarjeta. A continuación se muestra un esquema de la relación funcional entre la tarjeta de adquisición y el módulo de visualización.

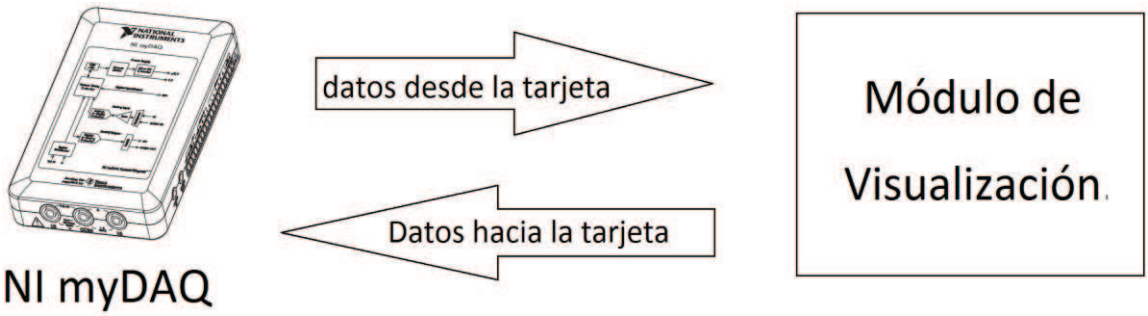


Figura 2.15 Diagrama esquemático de la etapa de envío de datos al computador

Esta etapa funciona con una tarjeta de adquisición de datos conectada con un cable USB al computador. Estos datos salen desde la etapa de visualización por medio de un bus de 8 bits hacia la tarjeta NI myDAQ. La tarjeta a más de enviar los datos hacia el computador, también recibirá datos del computador para enviarlos hacia el microcontrolador ATMega16 y fijar el punto de consigna con el que debe trabajar el sensor a fin de mostrar cualquier alerta. Para el envío de estos datos se utiliza las salidas análogas las mismas que son calibradas con el fin de que su variación sea de 0V a 5V.

2.1.4 DISEÑO DE LAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Para el módulo se necesitaron dos fuentes de alimentación para la parte móvil y fija. En la etapa de visualización se construyó una fuente que puede funcionar con pila o con energía eléctrica dependiendo de la posición de un switch. La fuente de corriente alterna (AC) utiliza un transformador de tap central de relación 120V/12V-tierra-12V. La etapa no regulada se la efectúa con un puente monofásico de diodos planos de 2A, RS207 debido que la fuente no necesitará proporcionar más de 500mA que servirán para alimentar el LCD, la polarización del microcontrolador y la alimentación de los indicadores en esta etapa. Un filtro con un capacitor de 2200uF para disminuir el rizado de la fuente no regulada. Este valor se seleccionó empíricamente observando fuentes de características similares. La regulación se realiza con un regulador de voltaje positivo LM7812 que proporciona + 12V y con un regulador LM7805 para los 5V que servirán para la alimentación del resto del circuito como se observa en la Figura 2.16. Se colocó disipador de calor a cada uno de los reguladores para evitar que estos se recalienten.

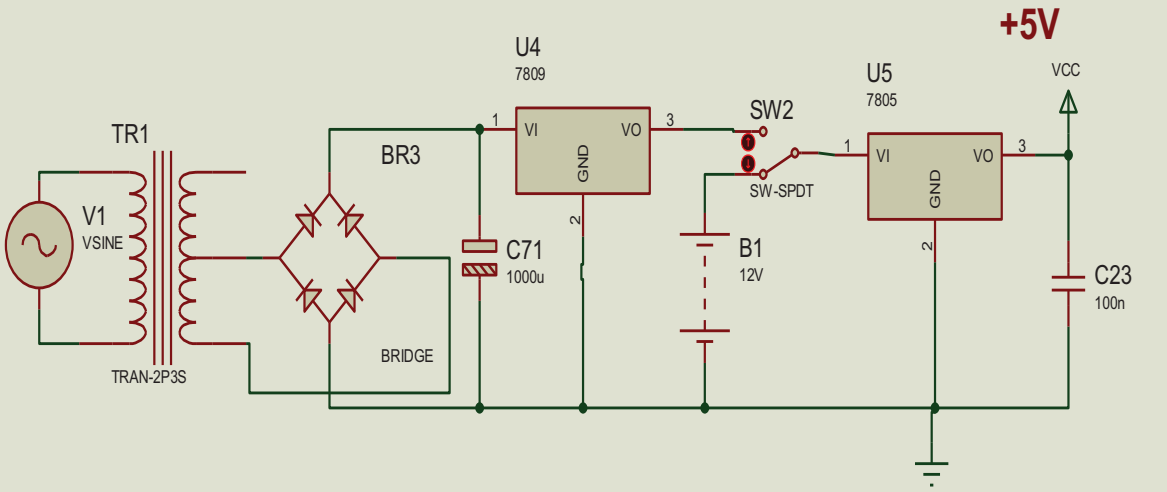


Figura 2.16 Diagrama esquemático de la fuente usada en la etapa de visualización

Para la fuente del carro que transporta el sensor de ultrasonido, se calculó el consumo energético en esta etapa. Cada motor utilizado consume alrededor de 300mA y si a esto se le aumenta la polarización del circuito de control del móvil (alrededor de 20mA) y la alimentación del sensor de ultrasonido (alrededor de 10mA) esta fuente tendrá que proveer alrededor de 630mA a 5V que está dentro de los valores de dimensionamiento de los elementos (Figura 2.17).

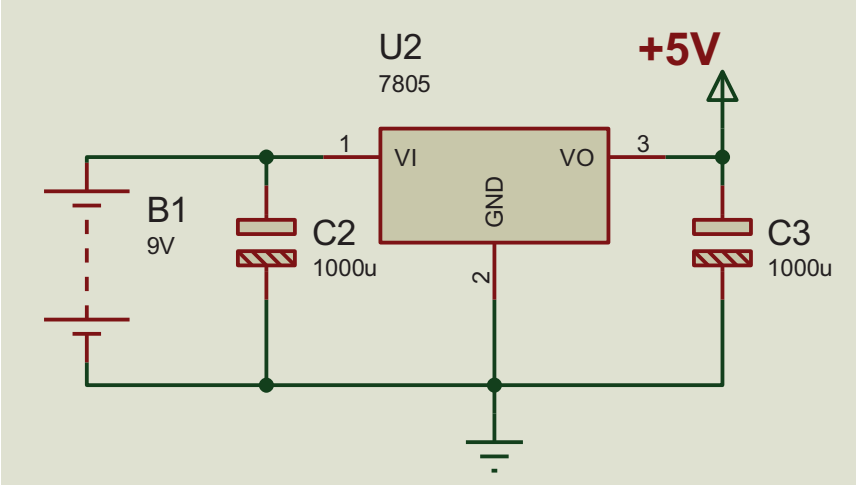


Figura 2.17 Diagrama esquemático de la fuente usada en el carro

Con el diseño de los circuitos electrónicos se espera que el prototipo funcione adecuadamente. Todos los circuitos funcionaran de acuerdo a un programa de control. Para el control de este prototipo se utilizará un programa para el microcontrolador ATMEGA16 y otro para el microcontrolador ATMEGA8. Estos programas trabajan en conjunto para lograr el correcto funcionamiento del prototipo. En el siguiente capítulo se detalla sobre el desarrollo y funcionamiento de cada uno de los programas y como funciona su lógica.

CAPITULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE

El objetivo de este capítulo es explicar sobre el desarrollo del software que permita al prototipo realizar el control del funcionamiento del circuito oscilador que alimenta al transductor piezoeléctrico emisor, medir el tiempo que tardan las ondas ultrasónicas en ir, rebotar en la superficie del tubo y regresar, recibir este dato por medio de trasmisión serial y mostrar la distancia recorrida por la onda en el monitor del computador.

Para un funcionamiento coordinado el sistema requerirá de dos tipos de software: para el PC y otro para el microcontrolador. Estos dos tipos de software complementan el trabajo que se realiza entre el computador y el módulo electrónico. Así, el software del PC debe enviar un código de inicio al microcontrolador, esperar que se ejecute el software en el microcontrolador y recibir el dato de tiempo enviado por el modulo electrónico, acondicionar este dato y procesarlo hasta visualizar la distancia que hay entre el sensor y el tubo. Por otro lado, el software del microcontrolador al recibir el dato enviado por el PC habilitará la emisión de ultrasonido y arrancará un cronometro que medirá el tiempo que le toma al pulso de ultrasonido en ir y regresar. Al detectar el eco de regreso el microcontrolador detendrá el cronometro y enviará este dato al PC vía comunicación serial.

3.1 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA LA COMUNICACIÓN DEL MICROCONTROLADOR CON EL COMPUTADOR

El programa desarrollado en lenguaje ensamblador se encargará de obtener los datos desde el sensor de ultrasonido, enviar estos datos a la tarjeta de adquisición NI my DAQ y luego mostrarlos en el LCD. En la Figura 3.1 se presenta el diagrama de flujo que explica el funcionamiento del programa y en el Anexo A se encuentra el programa realizado en código ensamblador.

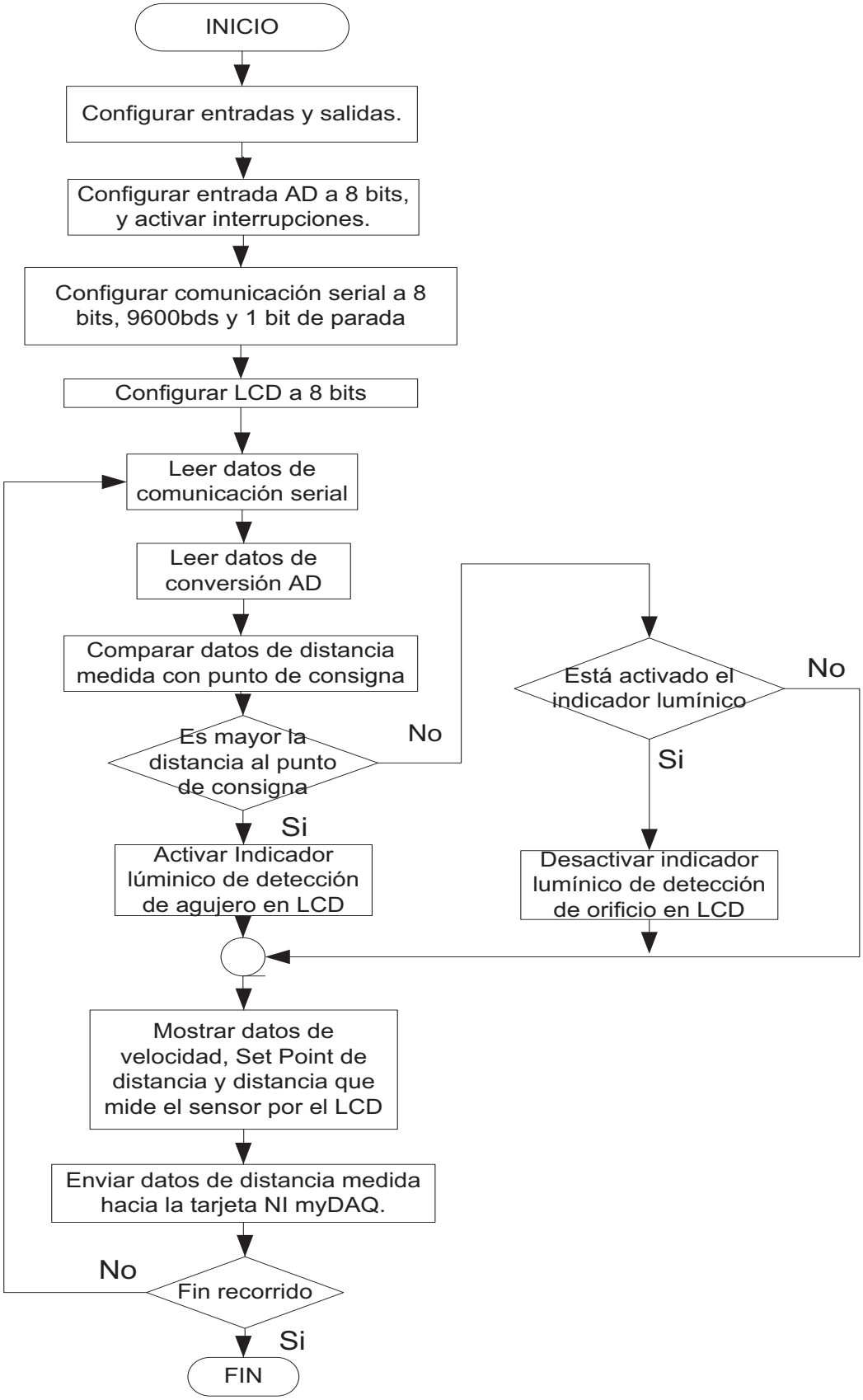


Figura 3.1 Algoritmo para la comunicación del microcontrolador con el PC

La lógica de las tareas del algoritmo se describe en lenguaje estructurado a continuación.

Inicio

Definir la librería de instrucciones del microcontrolador que se va a utilizar para compilar el programa como ATMEGA16.DEF.

Fin de tarea

Configurar entradas y salidas.

Configurar como entradas AD los pines PA0, PA1, PA2, PA3 (Análogo digital).

Configurar como entrada el pin PD6 para selección de modo (HMI o manual).

Configurar como salidas los 8 bits PB0-PB7.

Configurar 3 bits para control del LCD, los indicadores lumínicos que indicarán el modo en el que trabajará el prototipo (manual/HMI).

Fin de tarea

Configurar entrada AD a 8 bits y activar interrupciones.

Configurar la conversión AD a 8 bits (colocando un 1L en el bit ADLAR del registro ADMUX)

Configurar las interrupciones globales mediante el comando SEI.

Activar interrupciones.

Fin de tarea

Configurar comunicación serial

Configurar el protocolo de comunicación serial

Configurar a 8 bits, 9600bds y 1 bit de parada.

Fin de tarea

Configurar LCD a 8 bits

Seleccionar bus de 8 bits

Enviar los datos al LCD

Presentar los datos en el LCD

Fin de tarea

<u>Leer datos de comunicación serial</u>

Leer el registro UDR que contiene los datos que llegan a través de la comunicación serial.

Leer los datos de distancia medida por el sensor de ultrasonido.

Fin de tarea

<u>Leer datos de conversión AD</u>

Leer los datos del registro ADCH. C

Configurar el registro ADMUX

Leer los datos de velocidad (ADMUX=0x60) con la que se desplaza el móvil

Leer el dato de punto de consigna de distancia

Comparar el dato de distancia con punto de consigna para detectar un orificio (ADMUX=0x61).

Si se detecto orificio.

Activar en LCD indicador lumínico de detección de orificio.

No se detectó orificio.

Desactivar de LCD indicador lumínico de detección de orificio.

Leer nuevamente los datos de velocidad.

Fin de tarea

<u>Mostrar datos de conversión AD de velocidad, set point de distancia y de distancia medida en el sensor en LCD.</u>

Enviar al LCD los bytes que contienen los datos de velocidad.

Fijar el punto de consigna de distancia

Presentar en el LCD la distancia medida por el sensor

Fin de tarea

<u>Enviar datos de distancia medida hacia la tarjeta NI myDAQ.</u>

Enviar los datos de distancia medida hacia la tarjeta NImyDAQ a través del puerto C del microcontrolador.

Leer el byte recibido en la tarjeta NI myDAQ.

Fin de tarea

Se ha llegado al final del recorrido

No

Retornar a leer datos de comunicación serial a actualizar los datos de distancia

Si

fin de tarea

Fin de programa

Este programa se repite cíclicamente desde la lectura de los datos de comunicación serial, puesto que de esta forma se actualizarán los datos de distancia medida. Solo se detiene cuando el circuito queda sin energía.

Tal como se indica en el diagrama de flujo, en primera instancia se configuran las entradas y salidas analógicas y digitales (A-D) del microcontrolador. Estas entradas permitirán controlar la comunicación con el PC o solo la visualización local en el LCD. Luego se reciben los datos desde el sensor de ultrasonido por medio de comunicación serial.

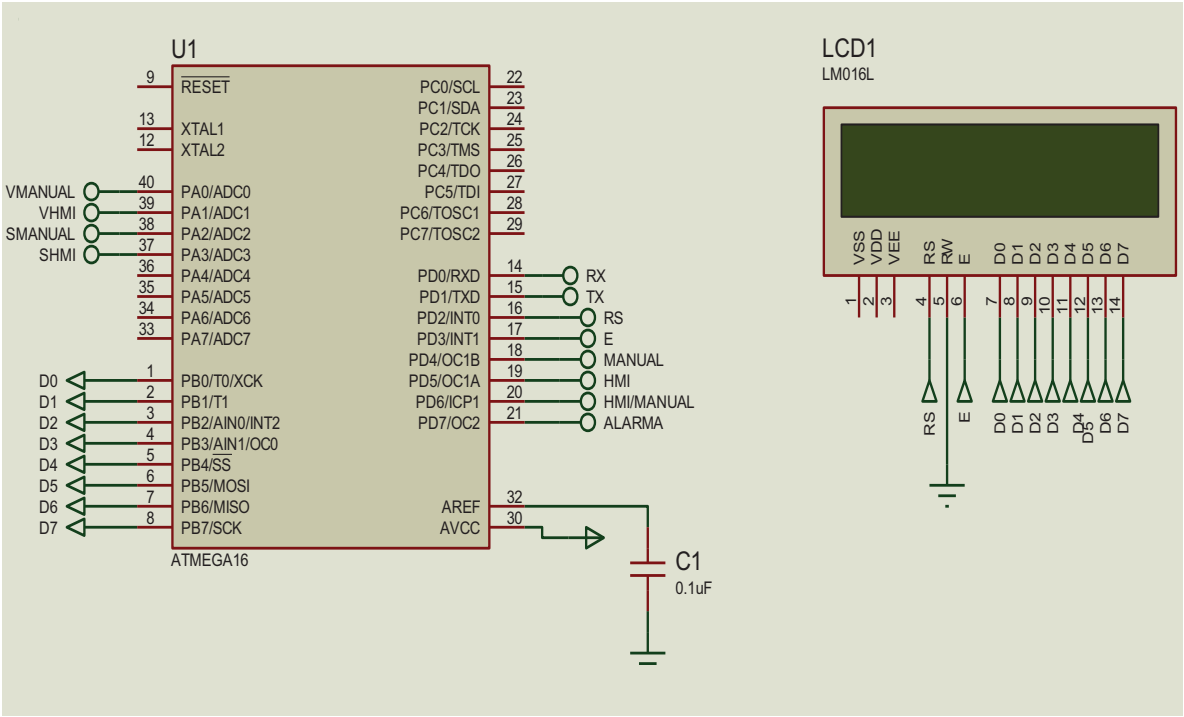


Figura 3.2 Distribución de pines del microcontrolador ATMEGA16

Las salidas permiten la comunicación con la tarjeta de adquisición de datos indicando si se localizó un orificio, activar dos alarmas visuales que se encuentran en el módulo y controlar la velocidad del móvil. Esto último puede hacerse por medio de un potenciómetro.

3.1.1 Configuración del LCD 16x2

Los datos de la posible presencia de un orificio se visualizarán en un LCD (Display de Cristal Líquido) que se encuentra configurado a 8 bits según especifica su hoja de datos. En la Figura 3.3 se muestra el diagrama de flujo de la configuración del LCD.

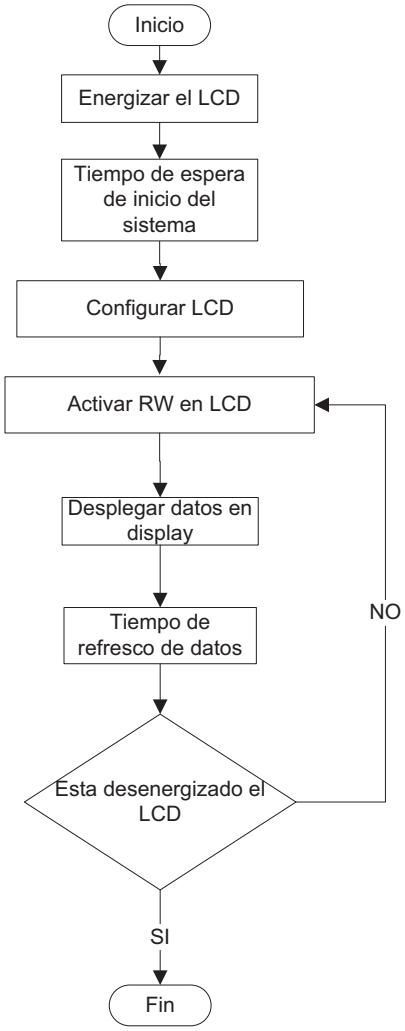


Figura 3.3 Algoritmo de la Configuración del LCD

La lógica de las tareas del algoritmo se describe en lenguaje estructurado a continuación.

Inicio

Iniciar subrutina

Correr subrutina

Fin de tarea

Energizar LCD

Energizar LCD

Esperar 16ms

Cargar comando

Configurar LCD

Configurar a 8 bits

Esperar 4.1 ms

Fin de tarea

Activar escritura en LCD

Cargar comando

Colocar comando en la posición 0

Esperar 4.1 ms

Limpiar LCD

Esperar 40 us

Fin de tarea

Desplegar datos en display

Mostrar datos de velocidad del móvil

Mostrar datos de distancia del sensor a la pared del tubo

Fin de tarea

Esta desenergizado el LCD

No

Esperar 40s

Activar escritura en el LCD

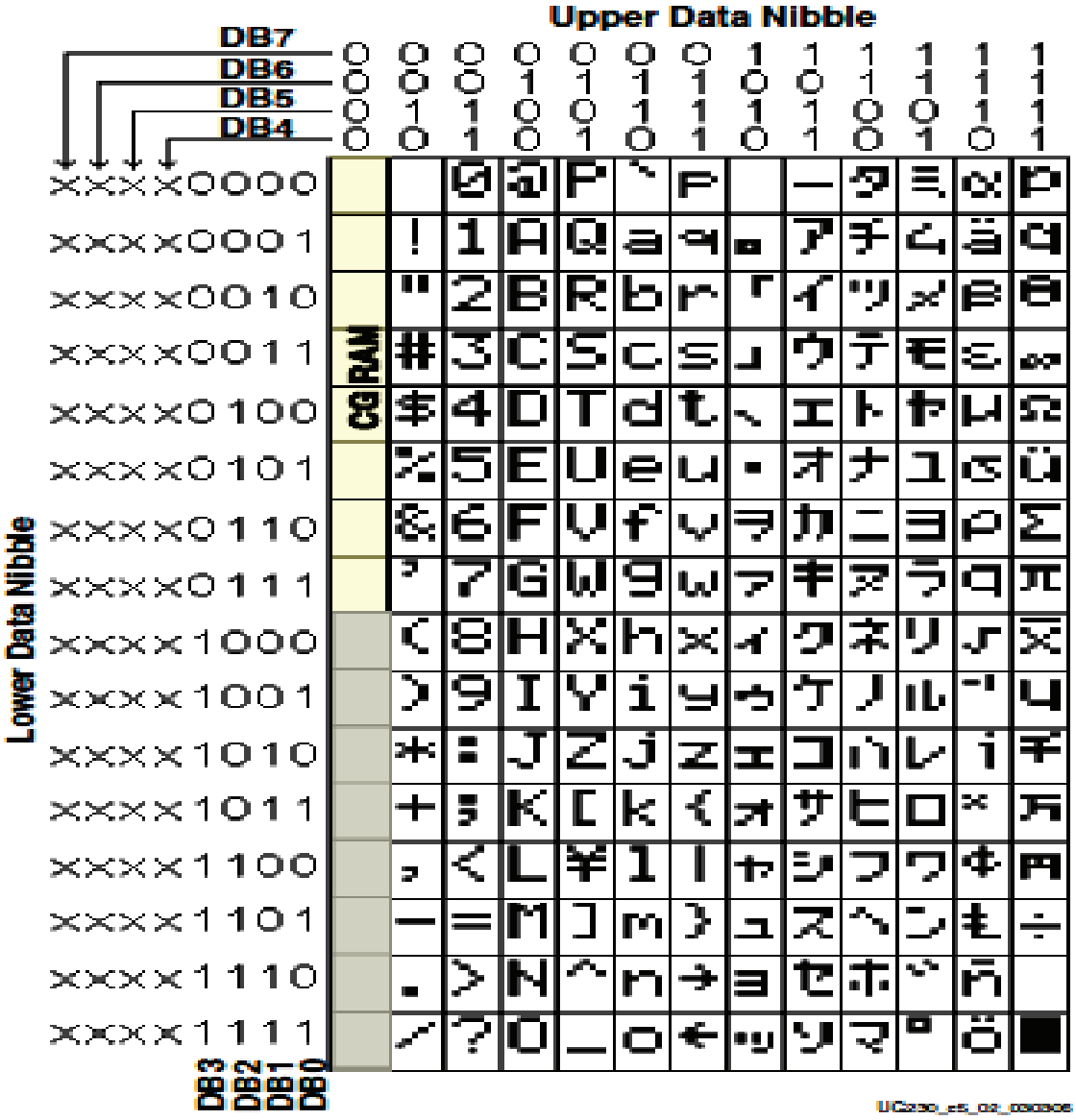
Si

Fin de subrutina

La subrutina de configuración del LCD a 8 bits se ejecuta cada vez que se inicia el programa.

Los datos se deben enviar en forma de códigos hexadecimales como se indica en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Códigos hexadecimales[3]



Estos deben ser enviados indicando la posición en la que se encuentra cada carácter. En la Tabla 3.2 a continuación se especifica el mapa del LCD.

[3]http://www.foroselectrónica.com/f24/cambio-pantalla-lcd-16x2-16214.htm

Tabla 3.2 Mapa del LCD

	Character Display Addresses																Undisplayed Addresses		
1	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	…	27
2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	…	67
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	…	40

El mapa que antecede indica la dirección de cada una de las posiciones en el LCD. Los datos en forma hexadecimal deben ser enviados al LCD como bits de datos que salen del microcontrolador hacia el display.

3.1.2 Configuración del convertidor análogo digital

Este convertidor fue configurado a 8 bits para procesar los datos que controlarán la velocidad del móvil y la máxima distancia a la cual el sensor detectará orificios. Estos datos se mostrarán en el LCD.

Los registros que se emplean para manipular el LCD se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Registros del convertidor análogo-digital

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Para el microcontrolador se utilizó la entrada ADC.0, ADC.1, ADC.2 y ADC.3 las cuales se encuentran en el puerto A. Para obtener la conversión AD de un dato de 8 bits se configuró el bit ADLAR del registro ADMUX en 1L. La configuración de la direcciones para obtener los datos de la conversión AD se realiza manipulando los bits MUX3…0, los mismos que pueden activar 16 tipos diferentes de funcionamiento de los pines de conversión análogo digital.

Los dos bits más significativos del registro ADMUX son configurados según la Tabla 3.4

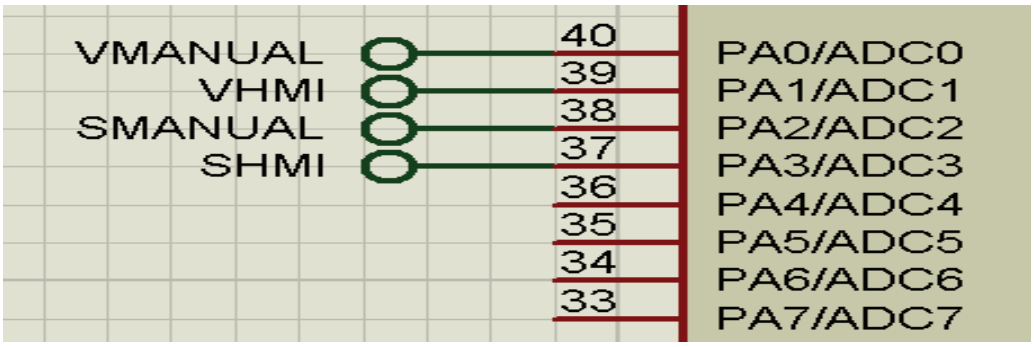
Tabla 3.4 Configuración bits del registro ADMUX

REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection
0	0	AREF, Internal Vref turned off
0	1	AVCC with external capacitor at AREF pin
1	0	Reserved
1	1	Internal 2.56V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

En este proyecto se configuró AVCC (polarización para AD) con un capacitor externo al pin AREF, esto permite que la referencia sea 5V.

En el caso del registro ADCSRA, el bit ADEN activa la conversión AD, en tanto que el bit ADSC estará en 1 siempre que la conversión AD este activa y se pondrá en 0 cada vez que la conversión se termine. El bit ADATE permite que la conversión se ejecute cada vez que hay un cambio en la entrada AD. Este bit funcionará cuando el bit ADIE se encuentre en 1L. El bit ADIF indicará cuando la conversión AD ha actualizado sus registros de almacenamiento como se indica en la Tabla 3.4.

Figura 3.4 Definición de las entradas del microcontrolador ATMEGA 16



Se utilizan cuatro entradas debido a que se realizará el control desde el módulo de visualización y desde la HMI en el computador por medio de las salidas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos. Las variaciones de la velocidad y distancia se las mostrará en el LCD. La siguiente tabla indica el propósito de cada una de las salidas analógicas.

Tabla 3.5 Descripción del funcionamiento de cada uno de los puertos

Entrada	Puerto	Propósito
ADC0	PA0	Variar la velocidad por medio del potenciómetro en la placa
ADC1	PA1	Variar la velocidad por medio de la salida análoga de la tarjeta de adquisición
ADC2	PA2	Variar el punto de consigna por medio del potenciómetro en la placa.
ADC3	PA3	Variar el punto de consigna por medio de la salida análoga de la tarjeta de adquisición

3.1.3 Comunicación Serial

Es utilizada para obtener los datos del sensor de ultrasonido. El fabricante del sensor señala que para comunicarse la interfaz serial debe configurarse de la siguiente manera:

Velocidad: 9600 baudios.

Bit de inicio: 1 bit.

Bits de datos: 8 bits.

Bits de parada: 2 bits.

Paridad: No

Comunicación asincrónica

Esto se realiza configurando los registros de la interfaz serial del microcontrolador utilizado (ATMEGA16), según se describe en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Configuración de registros para la interfaz serial

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	UCSRA
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	1	0	0	0	0	0	

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

En las dos tablas anteriores el número 0 debajo de cada bit significa que son bits de escritura mientras que el 1 indica que son bits de lectura.

Para lograr la comunicación serial es necesario configurar los bits RXC y TXC del registro UCSRA para permitir la recepción y transmisión de datos.

El registro UDRE indica cuando el registro de recepción de datos UDR está vacío para enviar un nuevo dato. La Tabla 3.7 muestra un resumen de los registros configurados.

Tabla 3.7 Bits del registro UCSRA

Bits del registro UCSRA	Función
RXC	Permite habilitar la recepción de datos
TXC	Permite habilitar el envío de datos
UDRE	Indica cuando el registro de recepción de datos UDR está vacío para el envío de datos
FE	Se pondrá en 1L cuando exista un error en la trama del dato que llegue
DOR	Se pondrá en 1L cuando los registros de entrada están llenos. Se pondrá en 0L cuando se lea el registro UDR.
PE	En 1L cuando existe error de paridad
U2X	Se usa en comunicación asincrónica. Este duplica la velocidad de transmisión cuando está en 1L
MPCM	Cuando se pone en 1L todas las tramas que no contengan información de dirección serán ignoradas.

De estos bits solo se manipulan los tres primeros, lo cual permite entablar la comunicación con el sensor de ultrasonido SRF02.

Para el registro UCSRB se tienen los siguientes bits. La Tabla 3.8 muestra los bits del registro.

Tabla 3.8 Bits del registro UCSRB

Bits del registro UCSRB	Función
RXCIE	Habilita la ejecución de la interrupción por recepción de datos
TXCIE	Habilita la ejecución de la interrupción por transmisión de datos.
UDRIE	Una interrupción es generada cuando el registro de recepción de datos UDR está vacío para el envío de datos.
RXEN	Habilita el uso de las banderas FE, PE, DOR del registro UDCSRA
TXEN	Deshabilita la sobrecorrida de transmisión de datos
UCSZ2	Permite modificar el tamaño de cada carácter enviado
RXB8	Es el noveno bit de los datos recibidos cuando se configura comunicación a 9bits
TXB8	Es el noveno bit de los datos enviados cuando se configura comunicación a 9bits

Para evitar la revisión continua de los datos que ingresan al microcontrolador se configura la recepción de los mismos como interrupción colocando en 1L el bit RXCIE del registro UCSRB según se muestra en la Tabla 3.9. El resto de bits de este registro no se configuran.

Tabla 3.9 Configuración y registro de datos

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	UCSRC
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	0	0	0	0	1	1	0	

A fin de leer y configurar el registro UCSRC, el bit URSEL será leído y escrito como 1L. Si se requiere leer o escribir el registro UBRRH (configura la velocidad de transmisión de datos), el bit URSEL debe estar en 0L.

Para configurar la longitud de datos recibidos, paridad y bits de parada que se utilicen se configuran los bits del registro UCSRC según se muestra en las Tablas 3.10 hasta 3.14.

Tabla 3.10 Configuración de bits del registro UCSRC

UMSEL	Mode
0	Asynchronous Operation
1	Synchronous Operation

Se debe colocar en 0L el bit UMSEL para tener una operación asincrónica.

Tabla 3.11 Operación asincrónica

UPM1	UPM0	Parity Mode
0	0	Disabled
0	1	Reserved
1	0	Enabled, Even Parity
1	1	Enabled, Odd Parity

Se coloca en 0L los bits UPM0 y UPM1 para deshabilitar la paridad.

Tabla 3.12 Deshabilitación de la paridad

USBS	Stop Bit(s)
0	1-bit
1	2-bit

Se coloca el bit USBS en 1L para configurar a 2 bits de parada.

Tabla 3.13 Configuración del número de bits de parada

UCSZ2	UCSZ1	UCSZ0	Character Size
0	0	0	5-bit
0	0	1	6-bit
0	1	0	7-bit
0	1	1	8-bit
1	0	0	Reserved
1	0	1	Reserved
1	1	0	Reserved
1	1	1	9-bit

Se configuran los bits UCSZ2 como 0L, UCSZ1 como 1L y UCSZ0 como 1L para utilizar la comunicación a 8 bits.

Tabla 3.14 Configuración de los bits UCSZ2, UCSZ1 y UCSZ0 [4]

Baud Rate (bps)	f_{osc} = 1.0000 MHz				f_{osc} = 1.8432 MHz				f_{osc} = 2.0000 MHz			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	25	0.2%	51	0.2%	47	0.0%	95	0.0%	51	0.2%	103	0.2%
4800	12	0.2%	25	0.2%	23	0.0%	47	0.0%	25	0.2%	51	0.2%
9600	6	-7.0%	12	0.2%	11	0.0%	23	0.0%	12	0.2%	25	0.2%
14.4k	3	8.5%	8	-3.5%	7	0.0%	15	0.0%	8	-3.5%	16	2.1%
19.2k	2	8.5%	6	-7.0%	5	0.0%	11	0.0%	6	-7.0%	12	0.2%
28.8k	1	8.5%	3	8.5%	3	0.0%	7	0.0%	3	8.5%	8	-3.5%
38.4k	1	-18.6%	2	8.5%	2	0.0%	5	0.0%	2	8.5%	6	-7.0%
57.6k	0	8.5%	1	8.5%	1	0.0%	3	0.0%	1	8.5%	3	8.5%
76.8k	–	–	1	-18.6%	1	-25.0%	2	0.0%	1	-18.6%	2	8.5%
115.2k	–	–	0	8.5%	0	0.0%	1	0.0%	0	8.5%	1	8.5%
230.4k	–	–	–	–	–	–	0	0.0%	–	–	–	–
250k	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0	0.0%
Max (1)	62.5 Kbps		125 Kbps		115.2 Kbps		230.4 Kbps		125 Kbps		250 Kbps	

1. UBRR = 0, Error = 0.0%

[4] http://www.superrobótica.com/S310425.htm

Para configurar la velocidad de comunicación a 9600 baudios se carga el valor de 12 al registro UBRR como sugiere el data sheet del microcontrolador utilizado y se coloca en 1L el bit U2X del registro UCSRA.

Los datos que se deben enviar para obtener la respuesta en centímetros es 0 en hexadecimal para indicar que se comunica con el sensor y luego 81 en hexadecimal para obtener la medida de la distancia en centímetros. Después de esto el sensor enviará el dato hacia el microcontrolador, y este será enviado por medio del puerto de 8 bits, hacia la tarjeta de adquisición que mostrará el mismo dato en el LCD.

El objetivo de este programa es mostrar los datos que proporcione el sensor de ultrasonido en un LCD y enviarlos al computador, acorde a la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Comandos de funciones[5]

Comandos		Descripción
Decimal	Hexadecimal	
80	0x50	Iniciar una nueva medida. Resultado en pulgadas
81	0x51	Iniciar una nueva medida. Resultado en centímetros
82	0x52	Iniciar una nueva medida. Resultado en micro segundos
83	0x53	Iniciar una nueva medida. El resultado en pulgadas se transmite automáticamente por Tx
84	0x54	Iniciar una nueva medida. El resultado en centímetros se transmite automáticamente por Tx
85	0x55	Iniciar una nueva medida. El resultado en micro segundos se transmite automáticamente por Tx
86	0x56	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en pulgadas
87	0x57	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en centímetros
88	0x58	Iniciar una nueva medida falsa. Resultado en micro segundos
89	0x59	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en pulgadas se transmite automáticamente por Tx
90	0x5A	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en centímetros se transmite automáticamente por Tx
91	0x5B	Iniciar una nueva medida falsa. El resultado en micro segundos se transmite automáticamente por Tx
92	0x5C	Transmite una ráfaga de 8 ciclos a 40KHz. No se realiza ninguna medida
93	0x5D	Leer la versión del firmware interno
94	0x5E	Leer la medida. Devuelve dos bytes con el resultado de la última medida realizada.
95	0x5F	Leer la medida de distancia mínima. Devuelve dos bytes con el resultado de la última medida mínima realizada.
96	0x60	Fuerza un reinicio del sonar SRF02 realizando un ciclo de auto-ajuste.
160	0xA0	1º Comando de secuencia para el cambio de dirección del SRF02
165	0xA5	3º Comando de secuencia para el cambio de dirección del SRF02
170	0xAA	2º Comando de secuencia para el cambio de dirección del SRF02

[5] http://www.superrobótica.com/S310425.htm

3.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA CONTROL DEL MÓVIL

Este programa fue desarrollado para el microcontrolador ATMEGA8 que se encuentra montado en el móvil que transporta el sensor. Los controles que lo comandan se ubican en la placa de la etapa de visualización y sus señales se transmiten por medio de un cable tipo par trenzado. En la Figura 3.5 se muestra la distribución de pines del microcontrolador ATMEGA8.

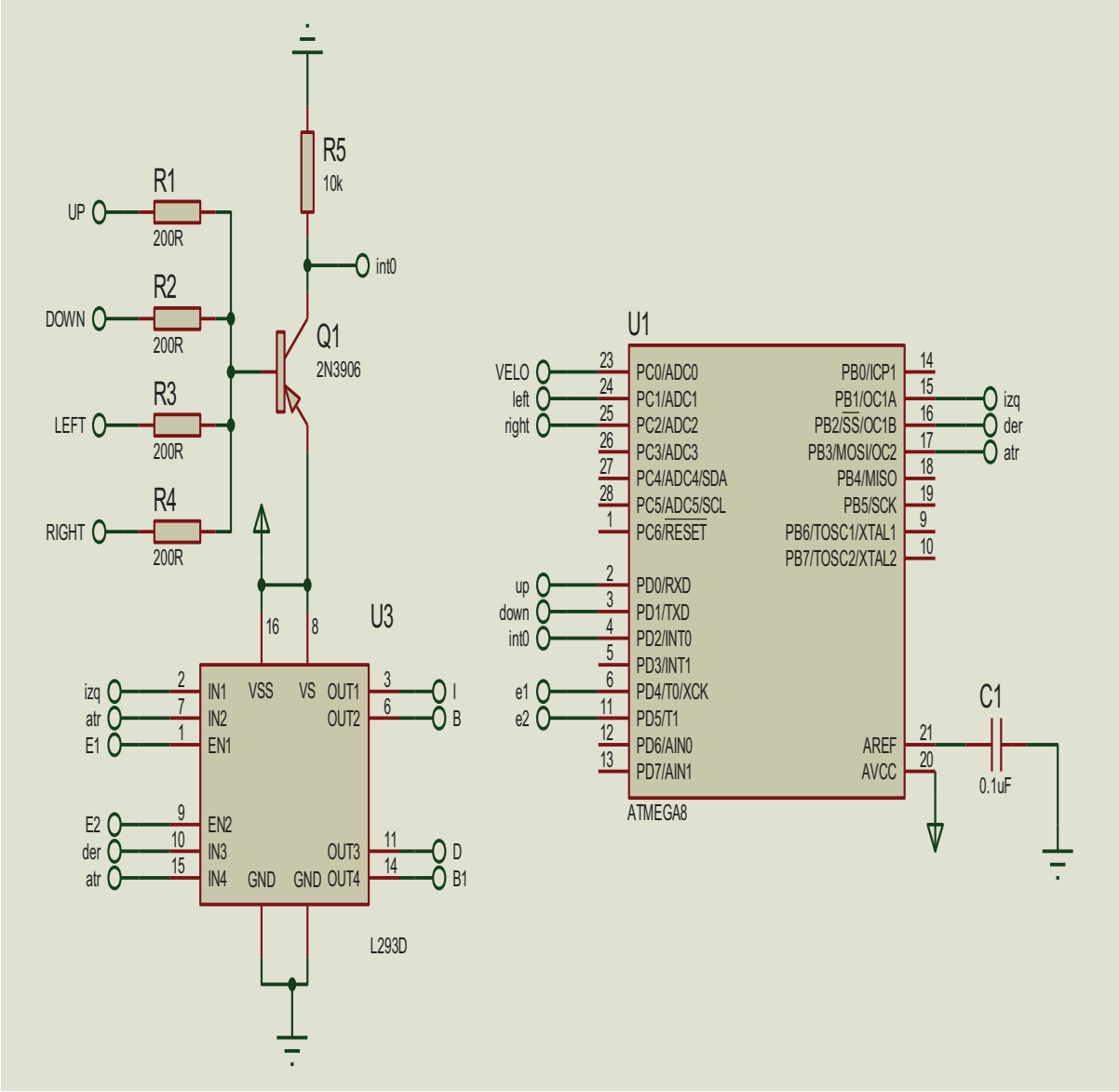


Figura 3.5 Distribución de pines del microcontrolador ATMEGA8

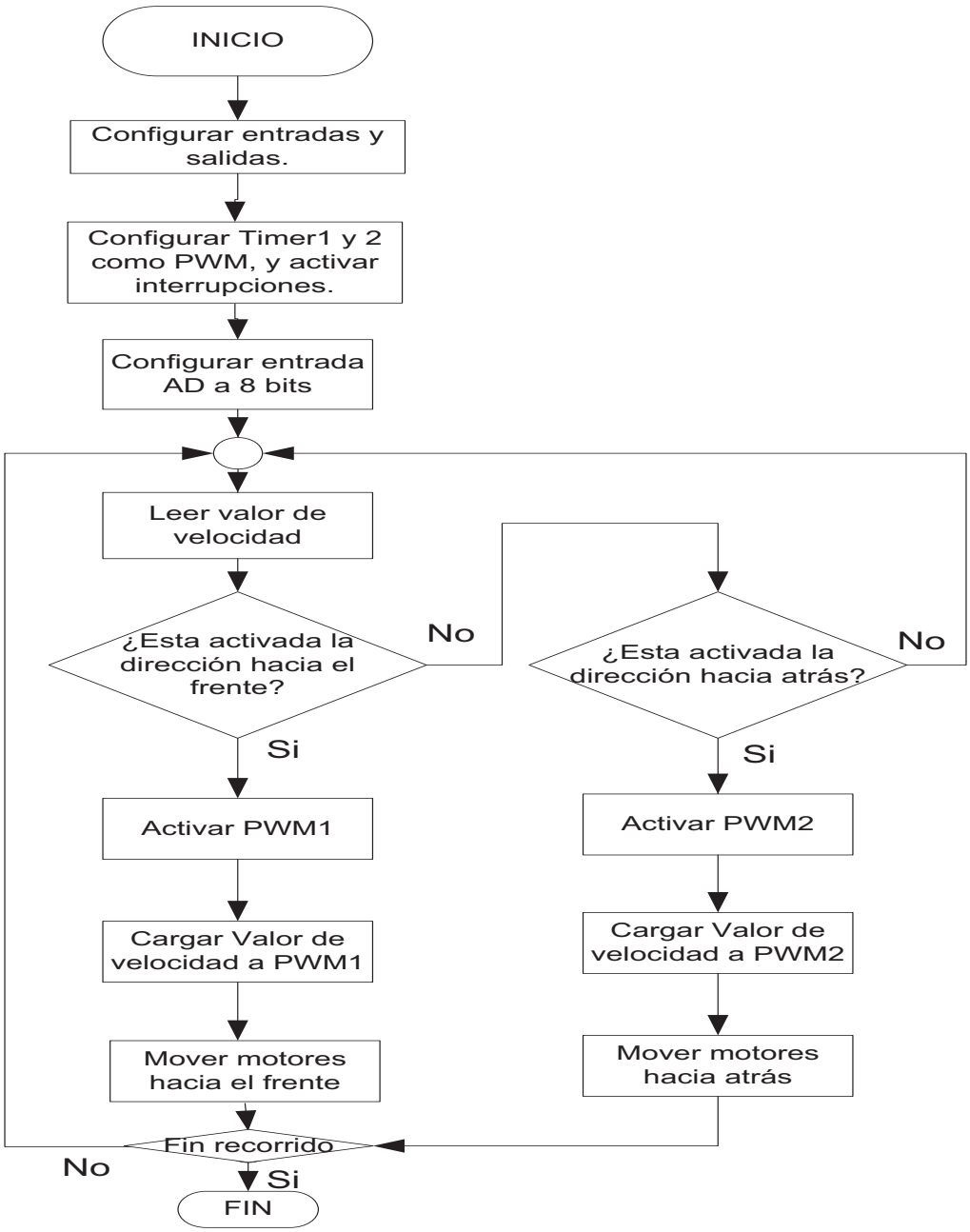


Figura 3.6 Algoritmo para control del móvil

La lógica de las tareas del algoritmo se describe en lenguaje estructurado como se detalla en la Figura 3.6 y en los siguientes pasos.

<u>Inicio</u>

Definir la librería de instrucciones del microcontrolador ATMEGA8.DEF

Fin de tarea

<u>Configurar entradas y salidas.</u>

Configurar como entradas a los pines PC1, PC2, PD0, PD1 que definen el sentido de movimiento del móvil.

Configurar la entrada analógica PC0 (ADMUX=0x60) la que determina la velocidad del móvil.

Fin de tarea

<u>Configurar timer 1 y timer 2 como PWM, y activar interrupciones.</u>

Definir a los PWM1 y PWM2 para controlar la velocidad del móvil como salidas.

Escribir el comando SEI para activar las interrupciones globales.

Fin de tarea

<u>Configurar entrada AD a 8 bits.</u>

Configurar la entrada análoga a 8bits

Colocar un 1L en el bit ADLAR del registro ADMUX

Controlar los PWM 1 y 2 que también funcionen a 8 bits.

Fin de tarea

<u>Leer datos de conversión AD (Valor de velocidad)</u>

Leer los datos de la entrada análoga

Registrar ADCH para escribir en los registros OCR1AH, OCR1AL, OCR2 para controlar los PWM.

Fin de tarea

<u>¿Está activada la dirección hacia el frente?</u>

Chequear si el pulsante que mueve el móvil hacia el frente está activado.

Si esta activado

Ir a subrutina PWM1

No está activado

Ir a chequear movimiento hacia atrás

Fin de tarea

<u>Activar PWM 1.</u>

Activar PWM1

Fin de tarea

<u>Cargar valor de velocidad a PWM1</u>

Cargar valores de la conversión AD en el PWM1 (OCR1AH, OCR1AL).

Fin de tarea

<u>Mover los motores hacia el frente.</u>

Si pulsante está activado

Mover el móvil hacia el frente.

Si pulsante no está activado

Retornar a leer valor de velocidad

Fin de tarea

<u>Fin de trayecto recorrido</u>

Preguntar, se termino el recorrido trayecto.

Si

Finalizar el programa

No

Ir a leer el valor de velocidad

<u>¿Está activada la dirección hacia atrás?</u>

Chequear si el pulsante que mueve el móvil hacia atrás está activado.

Si esta activado

Ir a subrutina PWM2

No está activado

Ir a chequear movimiento hacia frente (leer valor de velocidad)

Fin de tarea

<u>Activar PWM 2.</u>

Activar pulsante

Activar PWM2

Si pulsante está activado

Mover el móvil hacia atrás

Ir a leer valores de velocidad

Fin de tarea

<u>Cargar valor de velocidad a PWM 2.</u>

Cargar los valores de la conversión AD en el PWM 2 (OCR2).

Fin de tarea

<u>Mover los motores hacia atrás.</u>

Si pulsante está activado

Mover el móvil hacia atrás.

Si pulsante no está activado

Retornar a leer valor de velocidad

Fin de tarea

<u>Fin de trayecto recorrido</u>

Preguntar, se termino el recorrido/trayecto.

Si

Finalizar el programa

No

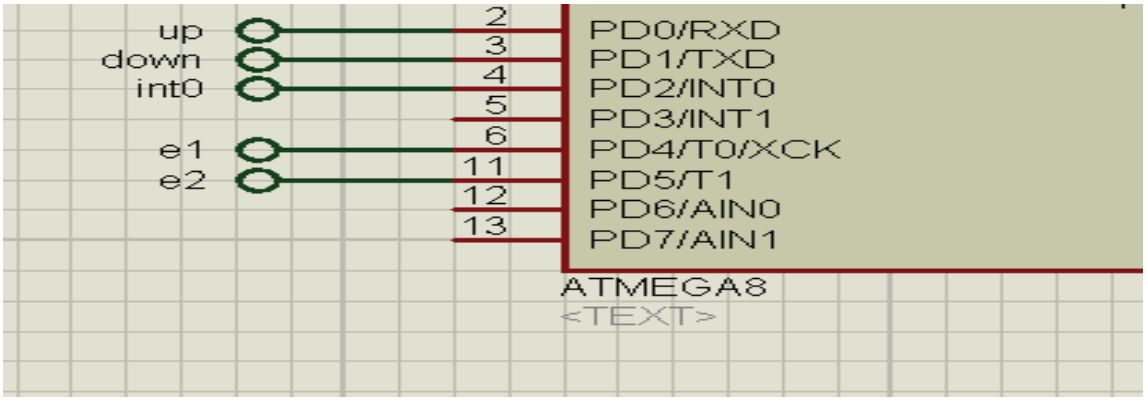
Ir a leer el valor de velocidad

El programa se repetirá desde el bloque que se leen los datos de velocidad del móvil siempre que termine de correr totalmente. Dicho programa finalizará cuando el circuito queda sin energía.

Para el programa realizado en código ensamblador ver Anexo A.

En primer lugar se configuran las entradas y salidas del microcontrolador. Las entradas permiten establecer la dirección que va a tomar el móvil y se ubican en el puerto D, como se muestra en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Entradas y salidas del microcontrolador



3.2.1 Interrupción Externa

Las entradas Up y Down permiten controlar a los PWM (modulación de ancho de pulso) que controlarán a los motores. Estas entradas son detectadas a través de la interrupción INT0 que se encuentra en el PIND.2. Esta interrupción fue configurada como flanco de subida, ver Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Funciones de comandos [6]

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

ISC11	ISC10	Description
0	0	The low level of INT1 generates an interrupt request.
0	1	Any logical change on INT1 generates an interrupt request.
1	0	The falling edge of INT1 generates an interrupt request.
1	1	The rising edge of INT1 generates an interrupt request.

Controlando los bits ISCX0 e ISCX1 se puede configurar el funcionamiento de la interrupción. En este caso se eligió poner ambos bits en 1L para detectar el flanco de subida.

[6] ATMEGA16 datasheet

La interrupción permite que el programa funcione continuamente sin necesidad que se revise de forma continua los pines controlados por la interrupción, ya que estos actuarán solo el momento que la interrupción sea activada.

Para controlar la velocidad con la que se desplaza el móvil, ya sea hacia adelante o para atrás, se utilizó dos PWM. El microcontrolador (ATMEGA 8) permite utilizar 3 salidas de PWM, dos de 16 bits y una de 8 bits. Se decidió utilizar las dos salidas de 16bits y una salida de 8bits.

Las dos salidas de 16 bits sirven para el desplazamiento del móvil hacia el frente y la salida de 8 bits para el desplazamiento hacia atrás, como se muestra en la Figura 3.9.

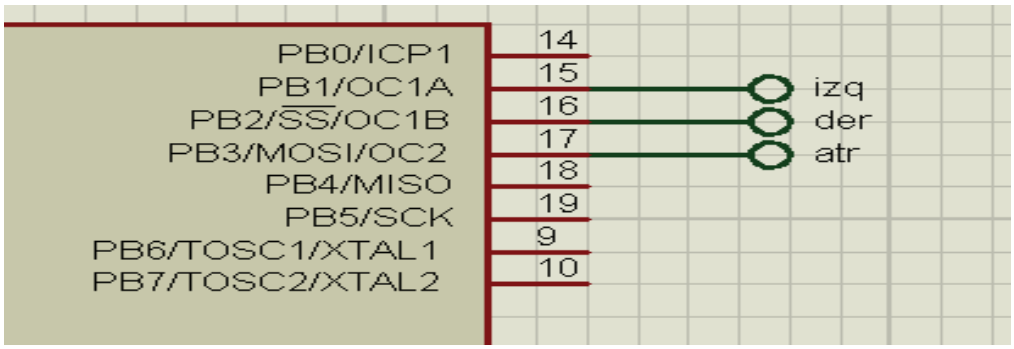


Figura 3.9 Salidas para desplazamiento del móvil

Las salidas de los PWM se encuentran en el puerto B. Para que funcionen adecuadamente se las configuró como entradas, acorde a la Tabla 3.17

Tabla 3.17 Configuración de salidas

16 bits Timer/Counter 1

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

En la siguiente tabla se observa todas las posibles configuraciones para el timer counter 1.

Tabla 3.18 Configuración de timer counter 1

Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1X	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	Reserved	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

La configuración de los registros de este timer counter 1 (Tabla 3.18), permite obtener una salida de ancho de pulso variable para controlar la velocidad de los motores en una dirección. En este caso se decidió utilizar el modo CTC a 8 bits que permite tener una señal con ancho de pulso variable a una frecuencia constante.

3.2.2 8 bits Timer/Counter 2

En la tabla 3.19 se describe la configuración de timer 2

Tabla 3.19 Configuración de timer 2

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	TCCR2
Read/Write	W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Mode	WGM21 (CTC2)	WGM20 (PWM2)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR2	TOV2 Flag Set on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR2	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX

Note: 1. The CTC2 and PWM2 bit definition names are now obsolete. Use the WGM21:0 definitions. However, the functionality and location of these bits are compatible with previous versions of the timer.

Este timer también se lo configuró con el modo CTC para tener una señal de ancho de pulso variable y frecuencia constante. Este PWM servirá para controlar la velocidad con dirección hacia atrás. Ambos PWM permiten variar la velocidad con los datos que se obtienen de la entrada análoga digital del micro controlador, como se muestra en la Tabla 3.19

3.2.3 Convertidor Análogo Digital

Este convertidor fue configurado a 8 bits para obtener datos que puedan servir para controlar el ancho de pulso de los PWM, como se muestra en la Tabla 3.20

Tabla 3.20 Configuración del convertidor análogo digital

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Para este microcontrolador se utilizó la entrada ADC.0 que se encuentra en el puerto C. Con el fin de obtener la conversión AD en un dato de 8 bits se configuró el bit ADLAR del registro ADMUX en 1L, acorde a la Figura 3.10

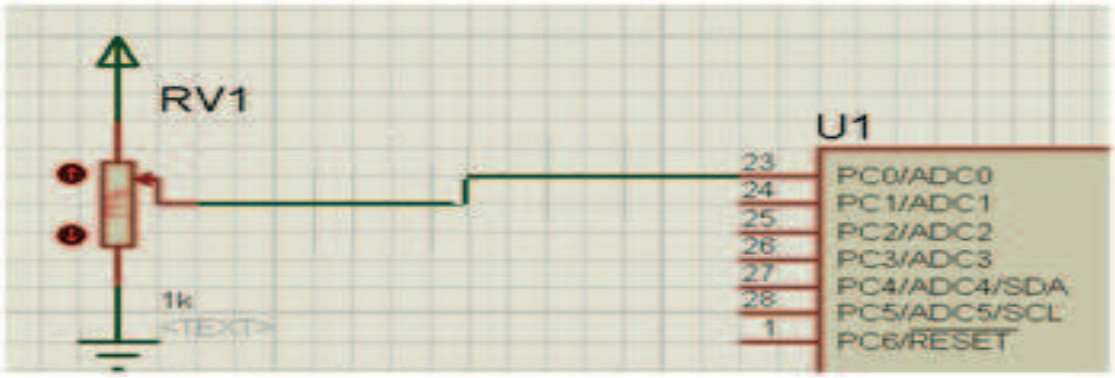


Figura 3.10 Entrada análoga del microcontrolador ATMEGA 8

La variación de la velocidad del móvil se realiza por medio de un potenciómetro que se encuentra en la placa de visualización y cuyo valor se mostrará en el LCD. Esta señal se transmite por medio de un cable hasta el móvil.

El control de los motores, como se mencionó anteriormente, se realizan por medio de los PWM que se encuentran conectados a un puente H que permiten el accionamiento de los motores sin pedirle corriente al microcontrolador. Este puente H ejecuta el control del sentido de la corriente en el motor con el propósito de que este se mueva en uno u otro sentido. En la Figura 3.10 se observa el diagrama de conexión del puente H con los motores.

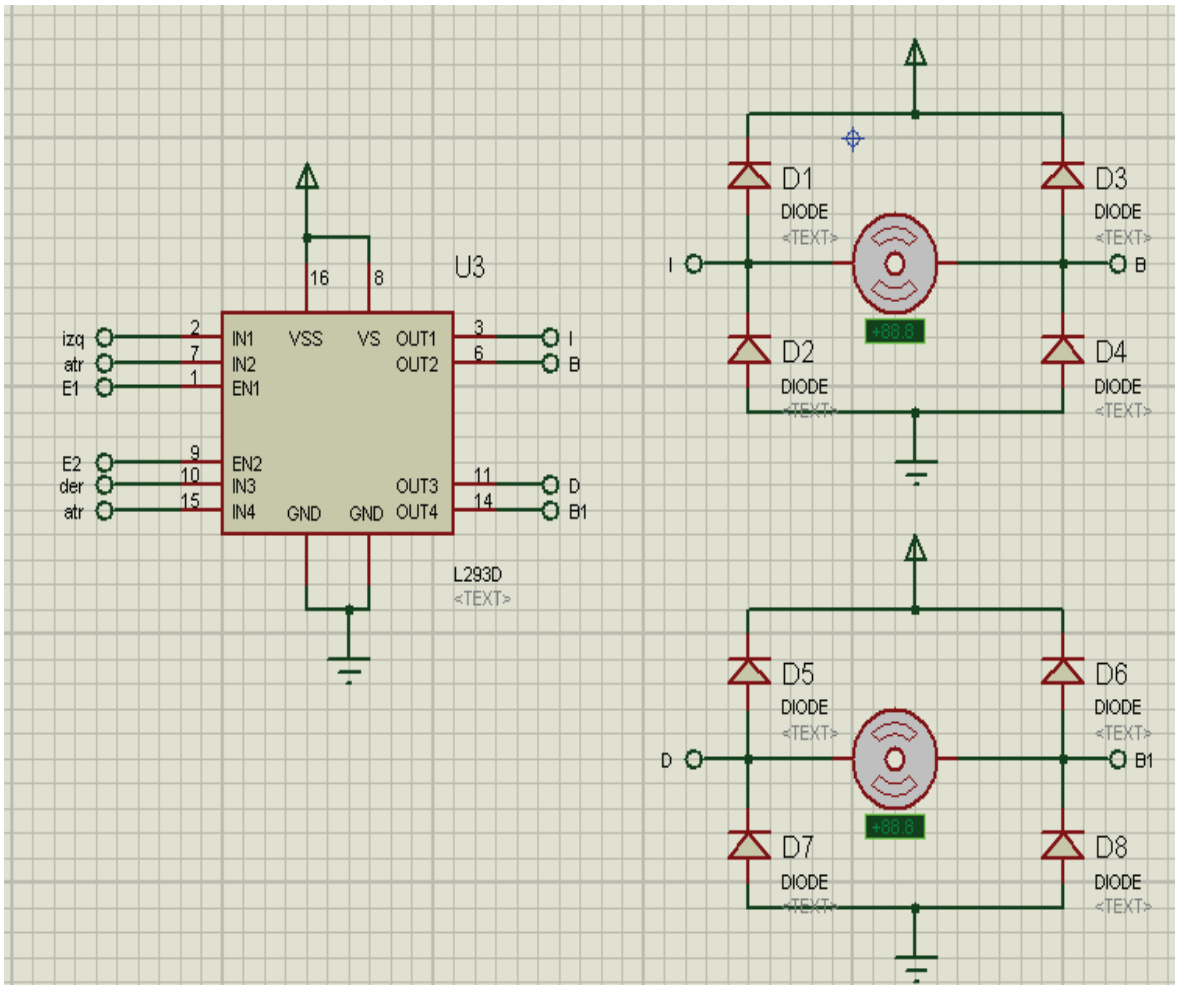


Figura 3.11 Control de los Motores

Como se mencionó en el capítulo anterior, el puente H que se utilizó es el que se encuentra presente en el circuito integrado L293.

Además como se explicó, este programa solo sirve para mover el móvil hacia adelante o hacia atrás. En el Anexo A se encuentra el programa en código ensamblador para el computador personal.

3.3 DESARROLLO DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN

Consiste en diseñar una interfaz máquina hombre (HMI) en LabView que presentará los datos obtenidos desde el sensor de ultrasonido. Para esto se diseñó la Interfaz Humano Máquina (HMI), como se muestra en la Figura 3.12

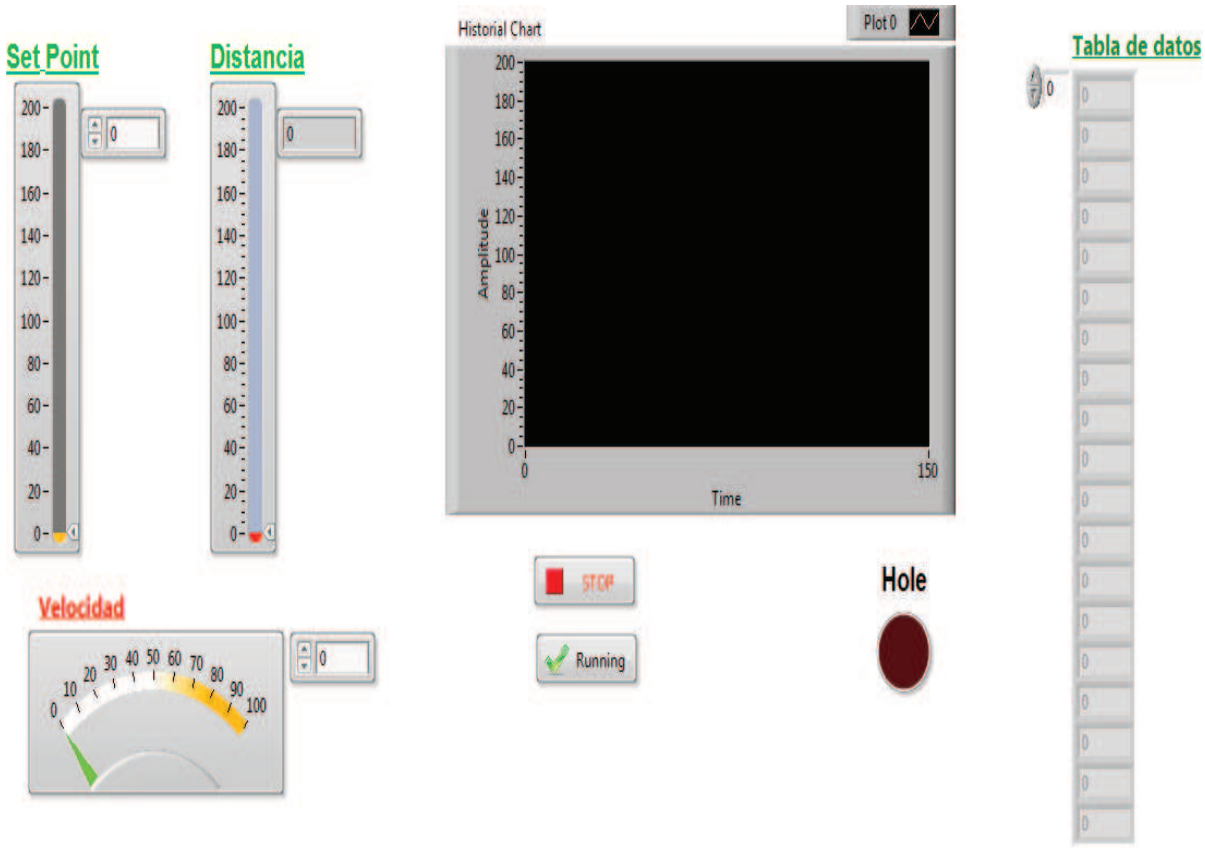


Figura 3.12 Diagrama de la HMI desarrollado

Como se puede observar en este VI, se podrá controlar la velocidad del 0% a 100% y el punto de consigna para controlar la distancia de detección de orificios. Permitirá observar la variación de distancia medida por el sensor de ultrasonido en una gráfica de Distancia vs Tiempo. Además los datos serán almacenados en un arreglo (matriz de 1 columna x nfilas) de datos para su posterior examinación. También este VI tiene un indicador lumínico que se encenderá cada vez que se detecte un orificio.

3.4 CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN

Para la configuración de la interfaz de comunicación en el diagrama de bloques se usaron los VIs para la adquisición de datos que utiliza LabView a fin de leer las señales que ingresen a los puertos de la tarjeta de adquisición (NI myDAQ).

Se generarán señales análogas para variar el punto de consigna de velocidad del móvil y el punto de consigna para detectar orificios en la tubería.

Además, mediante este programa, se mostrarán los datos en una tabla que posteriormente podrá ser examinada para tener un recuento histórico de los datos adquiridos.

Se colocaron señales luminosas en el HMI que mostrarán cuando el módulo está funcionando y aparece un orificio. A continuación, en la Figura 3.13, se muestra el diagrama de bloques de la HMI desarrollada.

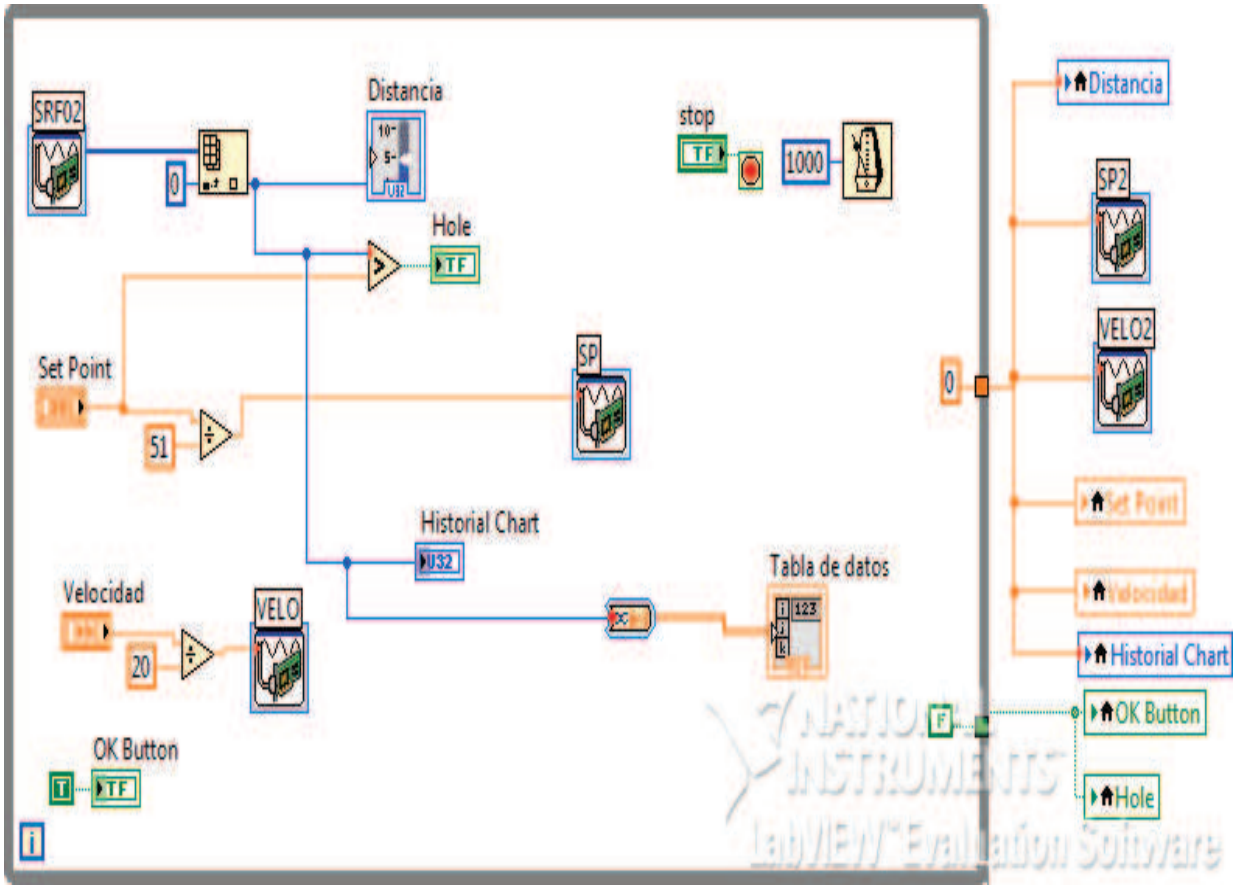
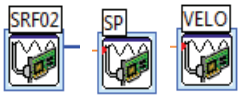


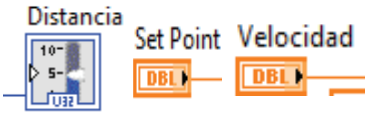
Figura 3.13 Diagrama de bloques de la HMI

A continuación se describe los VIs utilizados

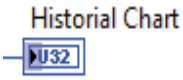


Estos tres bloques permiten la comunicación con la etapa de visualización. El primer bloque permite recibir los datos que envíe el microcontrolador ATMEGA16 a través de las 8 entradas digitales que tiene la tarjeta.

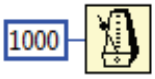
Los dos siguientes bloques permiten enviar señales análogas a fin de variar los valores de velocidad del móvil y punto de consigna de detección del orificio. Estas serán salidas análogas de la tarjeta que irán conectadas a dos entradas análogas del microcontrolador.



El primer bloque es un indicador de la distancia que medirá el sensor de ultrasonido. Los dos siguientes bloques son controles que enviarán datos a los bloques de salidas análogas de la tarjeta NImyDAQ. El primer bloque es tipo entero sin signo debido a que los datos serán adquiridos a través de la 8 entradas digitales. Mientras que los controles serán del tipo punto flotante debido a que utilizan valores con punto decimal.



Este bloque permite crear un arreglo en el que se almacenarán los valores medidos por el sensor de ultrasonido a lo largo del tiempo.



Este bloque permite que todo el proceso de adquisición de datos se realice cada segundo.

Al finalizar el programa, se encerará todos los valores de punto de consigna, y velocidad del móvil y quedarán almacenados los datos de las medidas tomadas.

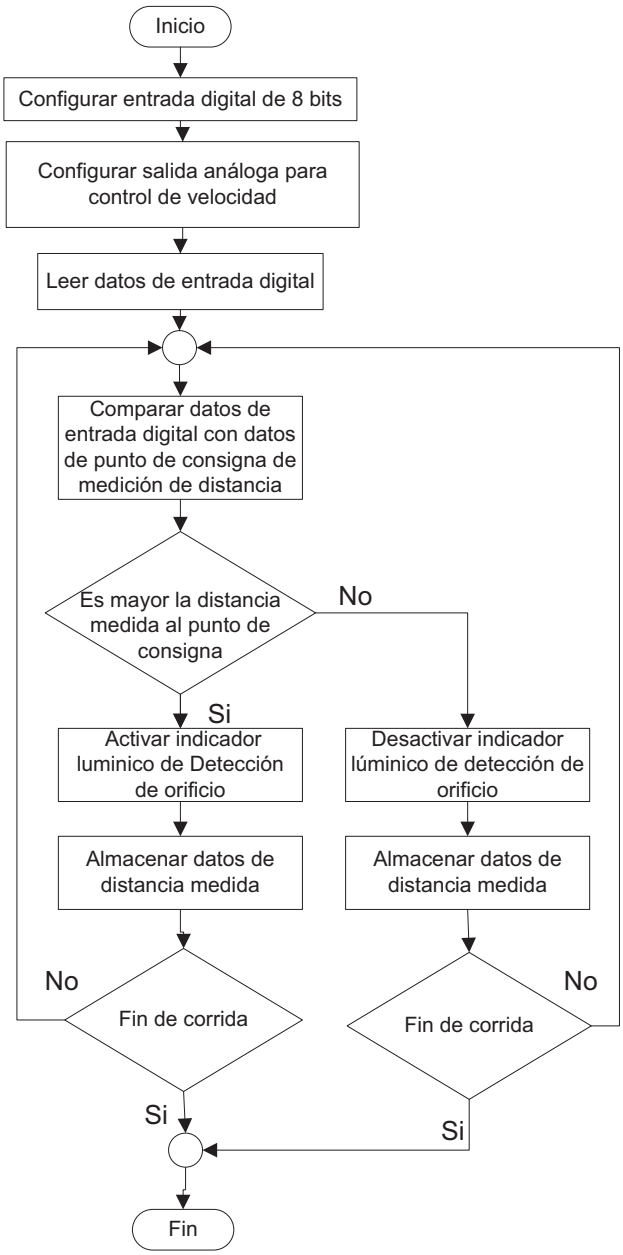


Figura 3.14 Algoritmo de detección de orificios

La lógica de las tareas del algoritmo se describe en lenguaje estructurado en Figura 3.14 y pasos siguientes.

<u>Inicio</u>

Iniciar programa

Correr programa.

Fin de tarea

<u>Configurar entrada digital de 8 bits. Configurar salida análoga para el control de velocidad.</u>

Configurar las entradas digitales de la tarjeta de adquisición NI myDAQ

Como una entrada de 8 bits.

Configurar salida análoga para control de velocidad

Fin de tarea

<u>Leer datos de entrada digital</u>

Leer los datos que ingresan a la entrada digital

Almacenar para una posterior comparación.

Fin de tarea

<u>Comparar datos de entrada digital con punto de consigna de medición de distancia.</u>

Comparar datos leídos con el punto de consigna de medición de distancia

Fin de tarea

<u>¿Es mayor la distancia medida al punto de consigna?</u>

Preguntar, si es mayor el valor de la distancia medida al punto de consigna.

Si el valor es mayor.

Activar indicador lumínico

Guardar dato de distancia medida

Mover a la siguiente celda del arreglo

<u>¿Es menor la distancia medida al punto de consigna?</u>

Preguntar, es menor el valor de la distancia medida al punto de consigna.

Si el valor es menor.

Desactivar indicador lumínico

Guardar dato de distancia medida

Mover a la siguiente celda del arreglo

<u>Fin de Corrida</u>

Preguntar, se ha complementado la inspección del tubo.

Si se ha completado

Finalizar el programa

No se ha completado

Retornar a comparar datos leídos con el punto de consigna de medición de distancia.

Como se observa en este capítulo se realiza el desarrollo del software de cada una de las partes del prototipo, adicionalmente los microcontroladores utilizados trabajan a 5V y permiten que el móvil se mueva transportando el sensor de ultrasonido. Los datos que mide este sensor son enviados por comunicación serial a un microcontrolador el mismo que se encarga de transmitir estos datos en forma de bytes hacia el computador para su posterior almacenamiento. El uso de un HMI permite variar las condiciones a las cuales un orificio es detectado y también la forma de cómo trabaja el móvil. Además permite el almacenamiento de datos lo que ayuda a realizar el respectivo análisis del mismo.

CAPITULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas con todo el equipo y los resultados que se obtuvieron durante las mismas.

Primero se integran todas las partes del prototipo comprobando que se encuentran interconectadas y operativas.

Los subsistemas que se integraron son: carro con sensor, tarjeta (NI myDAQ), PC y módulos (módulo de visualización, módulo móvil) los cuales se observan en la Figura 4.1.

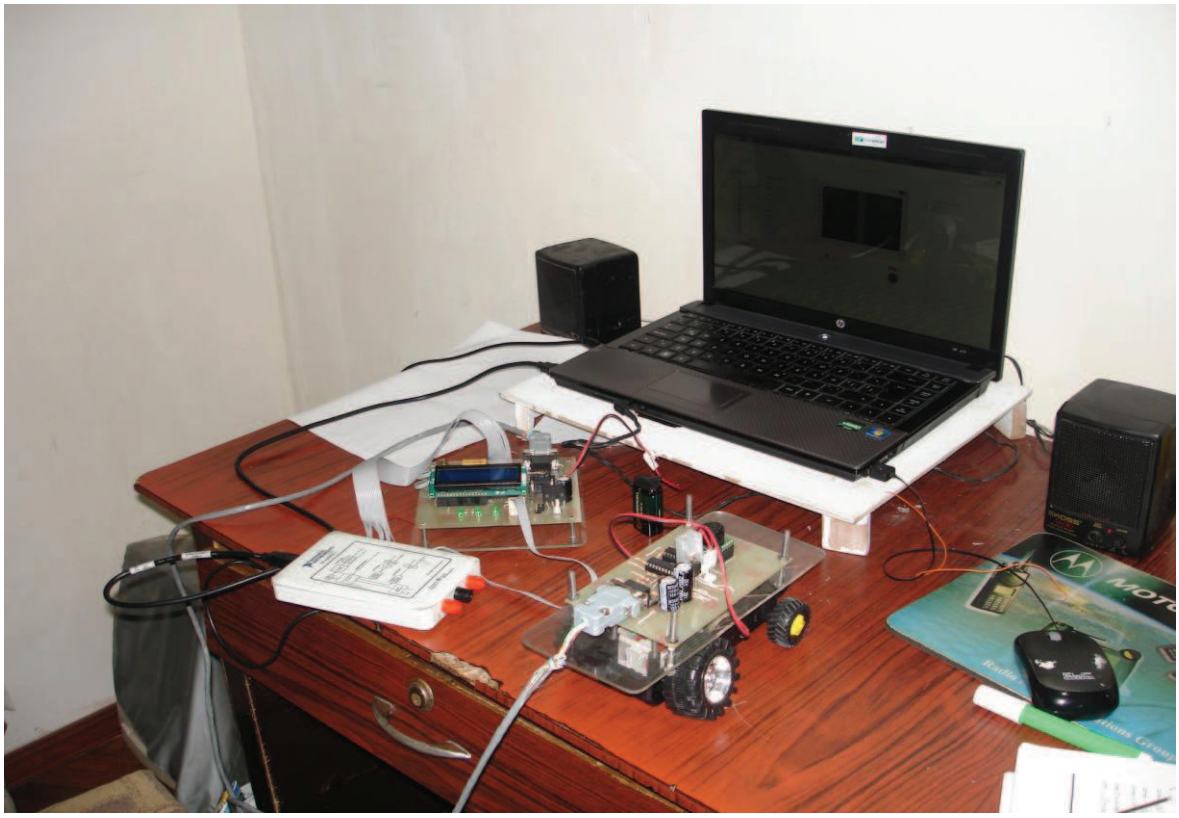


Figura 4.1 Prototipo construido

4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS EN LA MEDICIÓN DE DISTANCIAS

Esta prueba se diseñó para determinar el rango de distancias que mide el sensor. De acuerdo al fabricante, el rango de distancias que mide el sensor de ultrasonido se encuentra

entre 15cm y 600cm, aunque para la aplicación no se requiere que el sensor trabaje en todo el rango señalado. Al fin de comprobar el referido funcionamiento del prototipo se realizaron pruebas para determinar que tan exacto es el sensor. Dichas pruebas consisten en:

4.1.1 Procedimiento

1. Conectar todas las partes del prototipo. (Es decir conectar el móvil con la etapa de visualización y esta con la tarjeta NI myDAQ para adquirir los datos en el computador).
2. Verificar que los datos medidos por el sensor aparezcan en el LCD.
3. Colocar un objeto que se pueda acercar y alejar al sensor de ultrasonido a fin de variar la distancia que el sensor debe medir.
4. Colocar el objeto a diferentes distancias y medir esta con un flexometro para tomar dicha medida como dato real (Una distancia desde 10cm a 100cm y cada 5cm).

Tabla 4.1 Prueba para determinar el rango de distancias que mide el sensor

Distancia real (cm)	Medidas con el sensor						Desviación media (cm)	Error %
	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)	Medida 5 (cm)	Promedio (cm)		
10	12	11	13	9	22	13,4	3,4	34,0
15	15	15	16	17	15	15,6	0,6	4,0
20	20	20	20	20	20	20	0	0,0
25	24	25	25	26	25	25	0	0,0
30	29	29	31	30	30	29,8	0,2	0,7
35	35	35	33	36	34	34,6	0,4	1,1
40	40	40	42	40	40	40,4	0,4	1,0
45	45	45	46	45	45	45,2	0,2	0,4
50	50	50	51	50	51	50,4	0,4	0,8
55	55	55	56	55	54	55	0	0,0
60	60	60	61	60	60	60,2	0,2	0,3
65	64	64	64	64	64	64	1	1,5
70	68	69	72	71	70	70	0	0,0
75	75	76	75	73	75	74,8	0,2	0,3
80	81	80	81	80	79	80,2	0,2	0,3
85	86	86	85	86	84	85,4	0,4	0,5
90	91	90	91	90	88	90	0	0,0
95	95	96	95	95	96	95,4	0,4	0,4
100	101	100	102	100	100	100,6	0,6	0,6

Como se puede observar en la Tabla 4.1, el error en los valores que ofrece el sensor con respecto al medido manualmente no es mayor al 10% cuando la medición se realiza dentro del rango recomendado por el fabricante. También se puede observar que para distancias menores a 15cm el sensor mide valores que no son reales.

4.2. PRUEBAS Y RESULTADOS EN LA UBICACIÓN DE ORIFICIOS

Se realizaron las pruebas en un tubo de 56cm de diámetro y 1 metro de largo en el que se habían realizado perforaciones de diferentes diámetros a lo largo de tres trayectorias rectas en los primeros 30 centímetros para de esta forma realizar las pruebas de detección de orificios.

Se realizaron distintas pruebas a diferentes velocidades para determinar cuál es la influencia de la velocidad de desplazamiento del móvil en la detección de los orificios en la tubería. Para variar la velocidad se utilizó un potenciómetro que varía la relación de trabajo con que operan los motores. Con el fin de conocer el valor de la velocidad con que funciona el móvil se hicieron pruebas con un cronómetro. Al final se decidió que se puede trabajar a tres velocidades que son: 0,5cm/s; 1cm/s y 2cm/s.

4.2.1 Procedimiento:

1. Colocar el móvil en la tubería (de acuerdo a la trayectoria recta que se desee seguir).
2. Especificar la velocidad a la que se desea que trabaje el móvil (con el potenciómetro).
3. Correr el VI de adquisición de datos desde el móvil y verificar que la comunicación sea la adecuada.
4. Presionar el botón con dirección hacia el frente en el módulo de visualización.
5. Detener el programa de adquisición de datos al finalizar la prueba.

4.2.2 Trayecto 1

Prueba realizada a una velocidad del carro de 1cm/s

Tabla 4.2 Distancia y tiempo de vuelo

T (s)	d (cm)
1	42
2	42
3	42
4	42
5	42
6	42
7	42
8	42
9	42
10	187
11	187
12	42
13	42
14	42
15	42
16	42
17	42
18	42
19	42
20	42
21	42
22	187
23	42
24	42
25	42
26	42
27	42
28	42
29	42
30	42

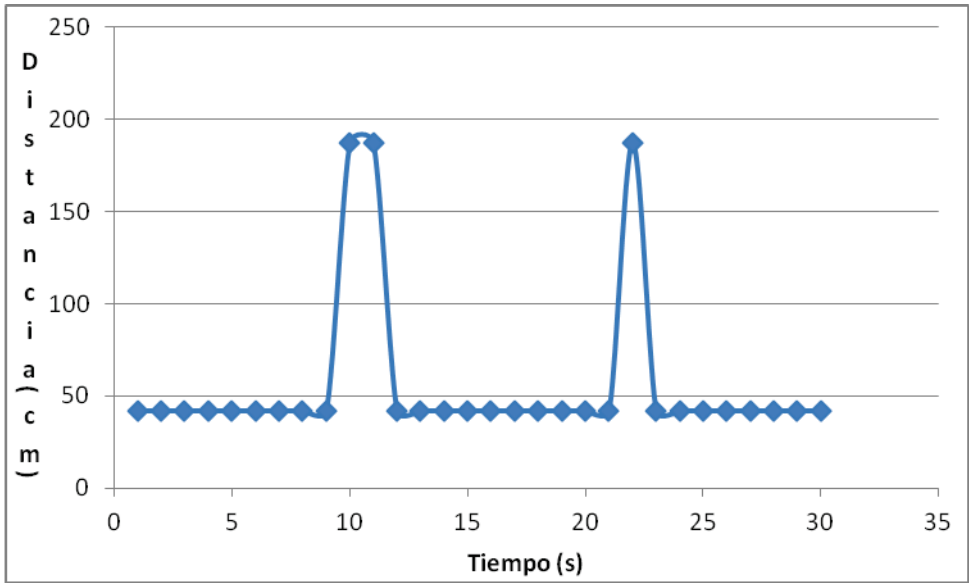


Figura 4.2 Diagrama velocidad del carro a 1 $^{cm}/_{s}$

En la Tabla y Figura 4.2, se observa que existen dos orificios en el tubo sobre la trayectoria del carro. Para calcular el diámetro de los mismos hay que mencionar que el carro se mueve a una velocidad de 1$^{cm}/_{s}$ entonces se puede hacer el siguiente cálculo.

$D = V \times t$

Donde D es el diámetro del agujero, t el tiempo que se demora en cambiar a la distancia normal y V la velocidad del carro.

En el caso de la prueba realizada se tiene que:

Primer orificio:

$D = 1\,{}^{cm}/_{s} \times 2s$

$D = 2cm$

Segundo orificio:

$D = 1\,{}^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 1cm$

<u>Prueba realizada a una velocidad de 0,5cm/s</u>

En la Tabla y Figura 4.3, se muestran los resultados obtenidos al variar la velocidad del móvil hasta una velocidad de $0.5{}^{cm}/_{s}$.

Tabla 4.3 Distancia y tiempo de vuelo

t (s)	d (m)
1	42
2	42
3	42
4	42
5	42
6	42
7	42
8	42
9	42
10	42
11	42
12	42
13	42
14	42
15	42
16	42
17	42
18	187
19	187
20	187
21	187
22	42
23	42
24	42
25	42
26	42
27	42
28	42
29	42
30	42
31	42
32	42
33	42
34	42
35	42
36	42

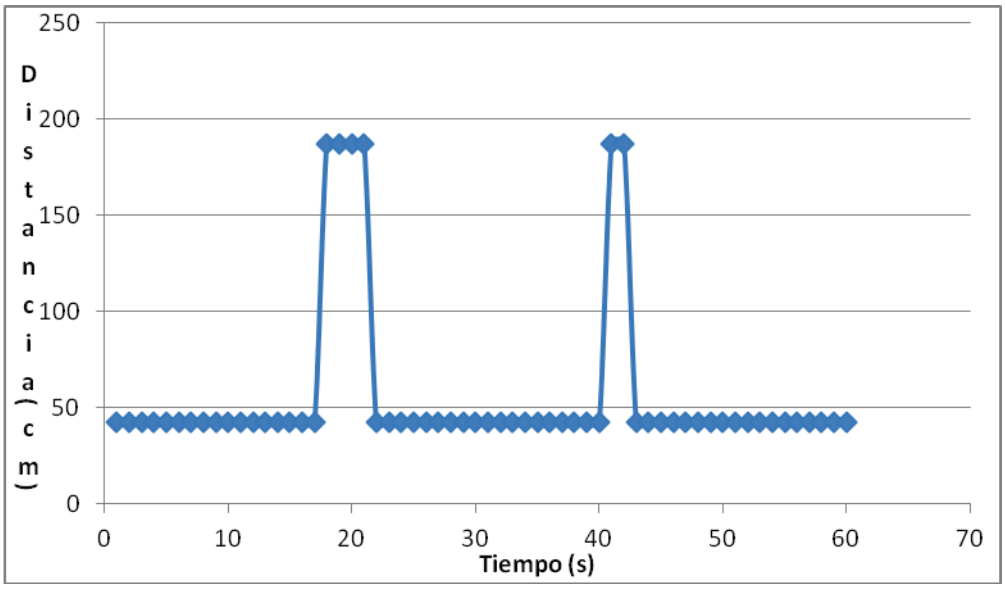


Figura 4.3 Diagrama velocidad del carro a $0.5\,{}^{cm}/_{s}$

37	42
38	42
39	42
40	42
41	187
42	187
43	42
44	42
45	42
46	42
47	42
48	42
49	42
50	42
51	42
52	42
53	42
54	42
55	42
56	42
57	42
58	42
59	42
60	42

En el caso de la prueba realizada se tiene que:

El primer orificio:

$$D = 0.5\,{}^{cm}/_{s} \times 4s$$

$$D = 2cm$$

El segundo orificio:

$$D = 0.5\,{}^{cm}/_{s} \times 2s$$

$$D = 1cm$$

<u>Prueba realizada a una velocidad del carro $2\,{}^{cm}/_{s}$</u>

En la Tabla y Figura 4.4, se muestran los resultados obtenidos al variar la velocidad del móvil hasta una velocidad de $0.5{}^{cm}/_{s}$.

Tabla 4.4 Distancia y tiempo de vuelo

t (s)	d (m)
1	42
2	42
3	42
4	187
5	42
6	42
7	42
8	42
9	42
10	187
11	42
12	42
13	42
14	42
15	42

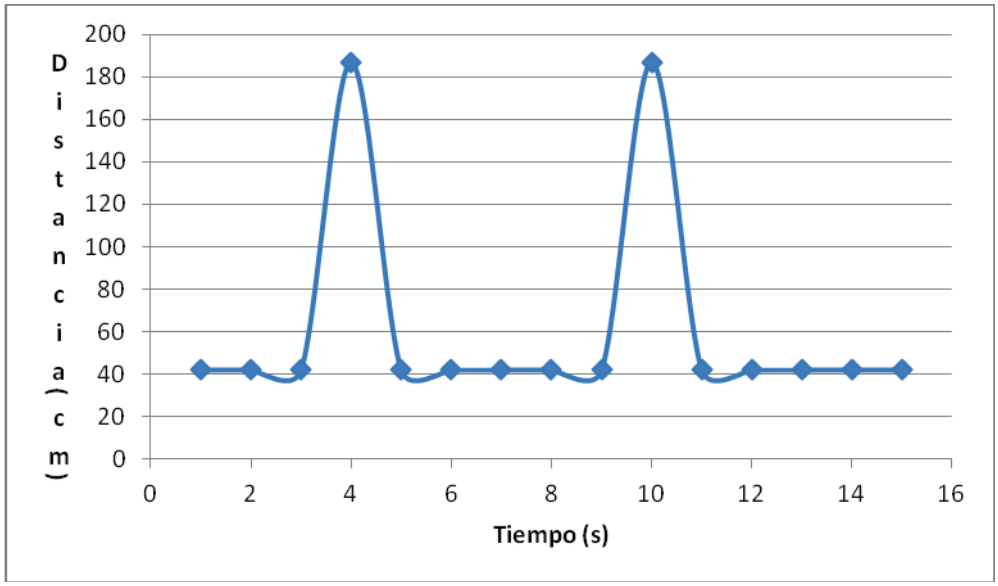


Figura 4.4 Diagrama velocidad del carro a $2\,{}^{cm}/_{s}$

En esta prueba se tiene que:

Primer orificio:

$D = 2\,{}^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 2cm$

Segundo orificio:

$D = 2\,{}^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 2cm$

Se puede observar que a pesar de seguir la misma trayectoria de la primera prueba los diámetros de los orificios cambian debido a que no es posible medir a tiempos menores a 1segundo, debido al tiempo de adquisición que tiene la tarjeta (Ni MyDAQ).

4.2.3 Trayecto 2

Prueba realizada a una velocidad del carro de $1\,{}^{cm}/_{s}$ pero una trayectoria diferente

t (s)	d (m)
1	42
2	42
3	42
4	187
5	187
6	42
7	42
8	42
9	42
10	187
11	42
12	42
13	42
14	42
15	42
16	187
17	42
18	42
19	42
20	42
21	42
22	42
23	42
24	42
25	42
26	42
27	42
28	42
29	42
30	42

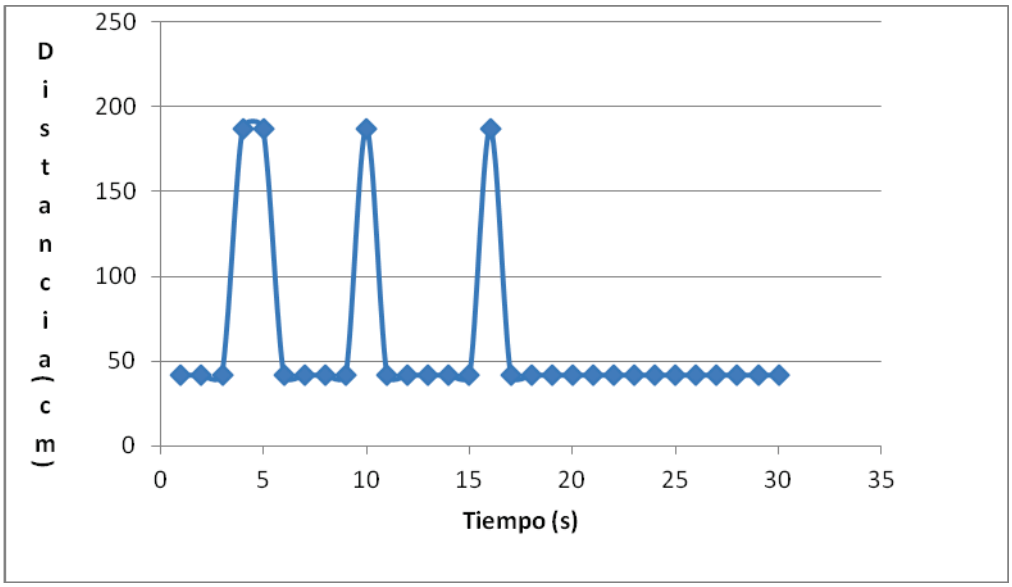


Figura 4.5 Diagrama velocidad del carro a $1\,{}^{cm}/_{s}$

En el caso de la prueba realizada se tiene que:

Primer orificios:

$D = 1\,{}^{cm}/_{s} \times 2s$

$D = 2cm$

Segundo orificios:

$D = 1\,{}^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 1cm$

Tercer orificios: $D = 1\,{}^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 1cm$

Tabla 4.5 Distancia y tiempo de vuelo

En la Tabla y Figura 4.6, se muestra la prueba efectuada a una velocidad de $2^{cm}/_{s}$

Tabla 4.6 Distancia y tiempo de vuelo

t (s)	d (m)
1	42
2	187
3	42
4	42
5	187
6	42
7	42
8	187
9	42
10	42
11	42
12	42
13	42
14	42
15	42

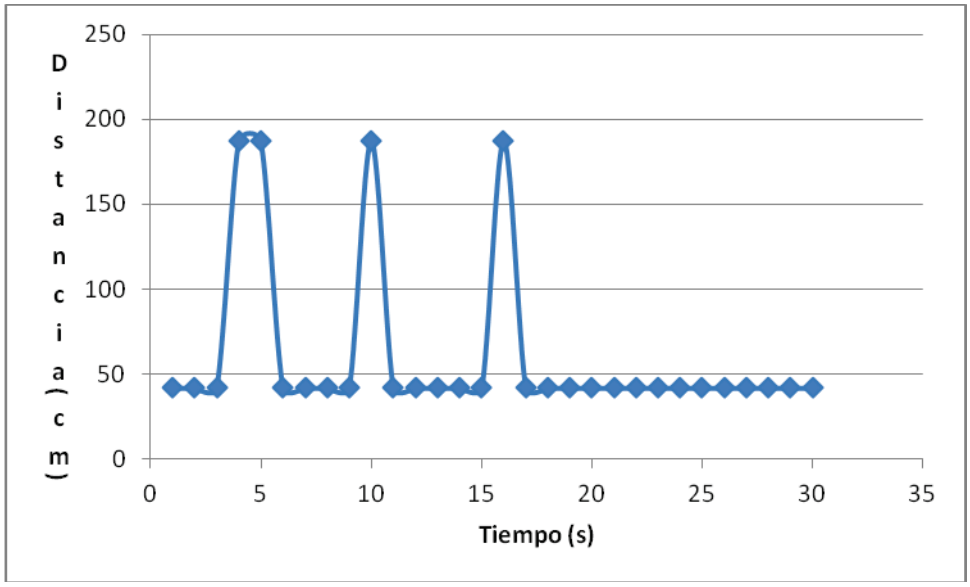


Figura 4.6 Diagrama velocidad del carro a 2 $^{cm}/_{s}$

En el caso de la prueba realizada se tiene que:

Primer orificio:

$D = 2\,^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 2cm$

Segundo orificio:

$D = 2\,^{cm}/_{s} \times 1s$

$D = 2cm$

Tercer orificio:

$$D = 1\,^{cm}/_{s} \times 1s$$

$$D = 1cm$$

Se puede observar que a pesar de seguir la misma trayectoria que la prueba anterior los diámetros de los orificios cambian debido a que no es posible medir tiempos menores a 1segundo debido al tiempo de adquisición de la tarjeta de adquisición de datos.

4.2.4 Trayecto 3

En Tabla y Figura 4.7, se muestra la prueba realizada a una velocidad de 1cm/s

Tabla 4.7 Distancia y tiempo de vuelo

t (s)	d (m)
1	42
2	42
3	42
4	42
5	42
6	42
7	42
8	187
9	187
10	187
11	187
12	42
13	42
14	42
15	42
16	42
17	42
18	42
19	42
20	42
21	42
22	42
23	42
24	42
25	42
26	42
27	42
28	42
29	42
30	42
31	42
32	42
33	42
34	42
35	42
36	42
37	42
38	42
39	42
40	187
41	187
42	42
43	42
44	42
45	42
46	42
47	42
48	42
49	42
50	42
51	42
52	42
53	42
54	42
55	187
56	187
57	42
58	42
59	42
60	42

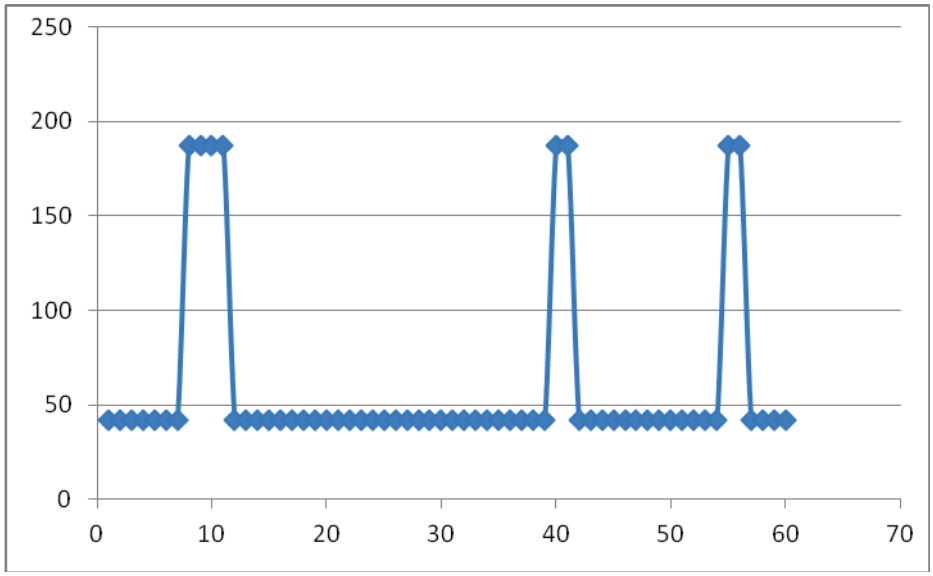


Figura 4.7 Diagrama velocidad del carro a 1 $^{cm}/_{s}$

4.2.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Se observa que no se puede medir orificios con diámetros menores a 5mm que es un diámetro considerable. Esto se debe a que la velocidad más baja con la que puede trabajar el móvil es 0,5cm/s, debido a que los motores del móvil no se mueven a una velocidad baja y la velocidad de transmisión que tiene la tarjeta (NI myDAQ) es de 1s por cada dato que toma.

- La velocidad de transmisión de datos que tiene la tarjeta (NI myDAQ) es de 1s por dato que se adquiere. Esto se debe a que el HMI desarrollado esta sincronizado con el número de datos que envía el sensor de ultrasonido hacia el microcontrolador y luego a la tarjeta.

- Las perforaciones que se efectuaron atravesaron la tubería por lo cual todas las pruebas que se realizaron muestran orificios. Es importante destacar que en la práctica una tubería que ha sido usada, previo a volver a instalarse, es sometida a una inspección interna tubo por tubo a fin de descubrir cualquier indicio de agujero producido debido a corrosión bacteriana u otras causas. No se debe olvidar que por más pequeño que sea el orificio afecta a la cabeza de presión o a la altura de cabeza debido al decremento de presión y contaminación al medio ambiente.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados de las pruebas se pueden obtener las conclusiones siguientes:

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 Para la presente aplicación puesto que el país dispone de tuberías de oleoducto de 6 hasta 36 pulgadas lo que implica un rango de 10 a 100cm, solo se tendría problemas con tuberías pequeñas. En la medición de distancias se observa que el error en los valores que ofrece el sensor con respecto al medido manualmente no es mayor al 10% cuando la medida se encuentra dentro del rango recomendado por el fabricante para distancias menores a 15cm el sensor mide valores que no son reales, dicho análisis de desviación se realiza en el subcapítulo 4.1

5.1.2 En cuanto se refiere al transductor receptor ultrasónico se observó que en la práctica su señal viene acompañada con ruido de baja frecuencia lo cual interfiere en las mediciones de distancia desde el sensor a la pared interna del tubo, debido a factores externos como la vibración de los motores del móvil entre otros.

5.1.3 Se puede observar que a pesar de que el móvil sigue una misma trayectoria entre pruebas, los diámetros de los orificios del tubo cambian aparentemente debido a que no se puede medir en tiempos menores a 1s por la velocidad de adquisición de datos de la tarjeta (NI myDAQ).

5.1.4 Los resultados permiten afirmar que el equipo puede detectar orificios en una tubería vacía. Los estudios efectuados paralelamente al desarrollo del prototipo descrito anteriormente indican que el crudo no permitirá que el ultrasonido lo atraviese golpee el objetivo y el eco regrese al receptor para así medir el tiempo de vuelo.

Cabe mencionar que esta afirmación se la realiza luego de estudiar ejemplos de “chanchos inteligentes” donde para la detección de las anomalías en las paredes internas de la tubería se aplica una tecnología sofisticada que mide la fuga de flujo magnético en las paredes del

ducto. Luego, sensores de efecto Hall captan la fuga y mediante un algoritmo elaboran una imagen de la posible falla. No se ha pensado en emplear esta tecnología por lo excesivamente costosa y que sale del alcance del proyecto.

5.1.5 Con el fin de detectar orificios en una tubería, se construyó un modulo electrónico basado en una primera oportunidad en sensores Jameco de 40KHZ (trasmisor y receptor). Luego, buscando mejorar los resultados, se cambio a un sensor SRF02. Adicionalmente se desarrolló un algoritmo y un pequeño programa en Labview obteniéndose un modulo electrónico basado en un microcontrolador para el cual se desarrolló un algoritmo que permite calcular distancias sobre la base de los datos entregados por el sensor. Este algoritmo mide el tiempo de vuelo del ultrasonido, que es generado por el transmisor, hasta el regreso del eco al sensor receptor. Otro microcontrolador, que recibe los datos del anterior, prepara los mismos para enviarlos, mediante comunicación serial, a un computador donde se muestran las distancias medidas mediante un VI de Labview. Las pruebas permiten afirmar que el cambio de transductor fue correcto.

5.1.6 La frecuencia de las ondas ultrasónicas emitidas es de vital importancia para el buen funcionamiento del prototipo. Las variaciones de esta frecuencia que se desvían del rango establecido por el fabricante para la operación del transductor (40KHZ±1KHZ) ocasionan oscilaciones e inestabilidades en la determinación del orificio en la tubería, debido a las características del transductor receptor y las del circuito detector que está diseñado para trabajar en este rango.

De la experiencia adquirida durante la ejecución de este trabajo se pueden extraer las recomendaciones siguientes:

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1 A fin de disponer de datos reales de distancias medidas con el sensor ultrasónico y minimizando los errores se debe seguir las recomendaciones del fabricante cuyo rango de distancias que mide el sensor se encuentra entre 15cm y 600cm.

5.2.2 En el móvil se podrían montar elementos adicionales de navegación tales como: cámara de video y un GPS a fin de detectar la forma de la anomalía en el interior de la tubería y para ubicar el sitio del problema.

5.2.3 Con el fin de detectar anomalías en el interior de la tubería en operación, es necesario que se aplique una tecnología sofisticada que mida la fuga de flujo magnético, con la ayuda de sensores de efecto Hall. Como esta es muy costosa se recomienda implementar por medio de un grupo de estudiantes para cubrir los costos y el tiempo que demande la implementación de esta tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS

1 Temas afines:

- Silva Segovia Mauricio Ricardo, Diseño y construcción de un modulo Didáctico y Software para simulación en un PC de un medidor de nivel de líquidos en tanques abiertos por medio de ultrasonido, Quito, EPN/ Octubre/1998.

- Armijos Llerena Jack Luis, Acondicionamiento de sensores de ultrasonido para aplicaciones de robótica móvil e implementación en una plataforma móvil, Quito/ EPN/Diciembre /2000.

En todos los trabajos afines realizados en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, si bien se emplea el ultrasonido, este es utilizado con otros propósitos, como por ejemplo la medición del nivel. En esta investigación se busca una aplicación totalmente diferente como es la detección de orificios en tuberías.

- Pérez Nolivos Carlos Alberto, Núñez Medranda Freddy Rafael, Elaboración de procedimientos de inspección con ultrasonido en el material de instalaciones de recepción, almacenamiento y bombeo de petróleo y sus derivados, elaboración de un plan de mantenimiento preventivo; correctivo del material de las instalaciones, Quito/EPN/2009.

- Demera Villavicencio María del Pilar, Generación de ultrasonido en metales con ondas electromagnéticas, Quito/EPN/1994.

- Soria Pazmiño Ernesto, Determinación por ultrasonido del tamaño de grano, resistencia y tenacidad en aceros al simple carbono, Quito/EPN/1988.

- Ayala Guzmán Fernando, Sango Anaguano Milton, Procedimientos tipo para inspección de uniones soldadas por los métodos de radiografía industrial y ultrasonido, Quito/EPN/1987.

En las Tesis de la Facultad Ingeniería Mecánica que anteceden, relacionadas con el uso del ultrasonido, este es empleado con otros fines, como es la elaboración de

procedimientos de inspección, generación de ultrasonido en metales con ondas electromagnéticas y determinación del tamaño de grano, resistencia y tenacidad en aceros al simple carbono. A diferencia, esta investigación se enfoca a una aplicación totalmente diferente como es la detección de orificios en tuberías.

2 Otras Publicaciones:

- Benson, Ultrasónica, Ediciones Urmo, España Bilbao, 1972.

- Bonifacio Alanis Toledo, Curso de Ultrasonido Industrial Nivel II, México, 2007.

- Rosa Ma, Vásquez Fernández, Fabricación y Caracterización de un sistema multisensor basado en óxidos metálicos, Proyecto Final de Carrera, Universitat Rovira I Virgili, 2009.

- Irrazabal Juan Manuel, Mediciones de distancia implementando ultrasonido, Universidad Nacional de Misiones/Facultad de Ingeniería/ 2002/2004.

ANEXO A

Programas para el microcontrolador y computador elaborados en código ensamblador.

1 PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR

```
/*
 * control.asm
 *
 *  Created: 27/12/2011 0:53:37
 *   Author: This is me
 */
.include "m16def.inc"

.def        temp0=r16
.def        temp1=r17
.def        temp2=r18
.def        temp3=r19
.def        cnt=r20
.def        setp=r21
.def        unidad=r22
.def        decena=r23
.def        centena=r24
.def        comp=r25
.def        velo=r26

.equ        rs=pd2
.equ        en=pd3
.equ        bus_lcd=portb

.org        0x00
rjmp        init

.org    0x16
rjmp        dato_rec

.org        0x26
rjmp        TIM0_COMP

init:
                ser             temp0
                out             ddrb,temp0
                out             ddrc,temp0
                sbi             ddrd,2          ;rs
                sbi             ddrd,3          ;e
                sbi             ddrd,4          ;manual
                sbi             ddrd,5          ;hmi
                sbi             ddrd,7          ;alarma
                cbi             ddrd,6          ;hmi/manual
                sbi             portd,6


                ldi             temp0,low(ramend)       ;stack pointer configuration
                out             spl,temp0
                ldi             temp0,high(ramend)
                out             sph,temp0

                ldi             temp0,0b00001000        ;timer counter interruption
configuration
                out             tccr0,temp0
                ldi             temp0,0x6f
                out             ocr0,temp0
                ldi             temp0,0b0000010
                out             timsk,temp0

                ldi             temp0,0b10000000        ;serial comunication configured
                out             adcsra,temp0                    ;9600bds    2 stop bits   8
bits    no parity
                clr     temp0
```

```
        out     ubrrh,temp0
        ldi     temp0,12
        out     ubrrl,temp0
        ldi     temp0,(1<<u2x)
        out     ucsra,temp0
        ldi     temp0,(1<<rxcie)|(1<<rxen)|(1<<txen)
        out     ucsrb,temp0
        ldi     temp0,(1<<ursel)|(1<<ucsz1)|(1<<ucsz0)|(1<<usbs)
        out     ucsrc,temp0

        ldi             cnt,99
        ldi             velo,99
        ldi             setp,99
        ser             temp0
        out             portc,temp0
        clr             temp0
        sei


inicio:
        rcall   lcd
        ldi             temp1,10
        rcall   retar_500m
        rcall   cls_lcd
        rcall   mens_p
        rcall   start_t0

main:
        mov             temp3,setp
        rcall   bin_bcd
        ldi             temp0,0xcf
        rcall   pon_u
        ldi             temp0,0xce
        rcall   pon_d
        ldi             temp0,0xcd
        rcall   pon_c

        mov             temp3,velo
        rcall   bin_bcd
        ldi             temp0,0x87
        rcall   pon_u
        ldi             temp0,0x86
        rcall   pon_d
        ldi             temp0,0x85
        rcall   pon_c

        out             portc,cnt
        mov             temp3,cnt
        rcall   bin_bcd
        ldi             temp0,0xc7
        rcall   pon_u
        ldi             temp0,0xc6
        rcall   pon_d
        ldi             temp0,0xc5
        rcall   pon_c

        cp              cnt,setp
        brsh    ind
        ldi             temp0,0x8B
        cbi             portd,7
        rcall   ver_n
        rjmp    end
ind:
        ldi             temp0,0x8B
        sbi             portd,7
        rcall   ver_a
end:
        sbis    pind,6
        sbi             portd,4
        sbic    pind,6
        cbi             portd,4
        sbis    pind,6
        cbi             portd,5
        sbic    pind,6
```

```
                sbi             portd,5
                rjmp    main

mens_p:
                ldi             temp0,0x80
                rcall   ver_v
                ldi             temp0,0x88
                rcall   ver_p
                ldi             temp0,0xc8
                rcall   ver_s
                ldi             temp0,0xc0
                rcall   ver_d
                ret

lcd:
                rcall   ini_lcd
                rcall   cls_lcd

                ldi             temp0,0x80              ;80(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia

                ldi             zh,high(texto1*2)
                ldi             zl,low(texto1*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg

                ldi             temp0,0xC0              ;C4(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia

                ldi             zh,high(texto2*2)
                ldi             zl,low(texto2*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg

                ret

ini_lcd:
                ldi             temp0,0x38              ;38(HEX)
                ldi             temp1,228       ;4.122ms  (temp1 x 18)
                rcall   secuencia
                ldi             temp0,0x38              ;38(HEX)
                ldi             temp1,6                 ;108us
                rcall   secuencia
                ldi             temp0,0x38              ;38(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             temp0,0x38              ;38(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             temp0,0x06              ;06(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             temp0,0x0E              ;0E(HEX)
                ldi             temp1,3                 ;54us
                rcall   secuencia
cls_lcd:ldi     temp0,0x01              ;01(HEX)
                ldi             temp1,92        ;1.656ms
                rcall   secuencia
                ret

secuencia:
                cbi             portd,2
                sbi             portd,3
                out             bus_lcd,temp0
                rcall   retardo
                cbi             portd,3
                ret

retardo:
                ldi             temp2,5
retard1:dec             temp2
                brne    retard1
```

```
                dec             temp1
                brne    retardo
                ret

retar_500m:
                ldi             yh,high(125000)
                ldi             yl,low(125000)
re5:    sbiw    y,1
                brne    re5
                dec             temp1
                brne    retar_500m
                ret

car_num:ldi             zh,high(tnum*2)
                ldi             zl,low(tnum*2)
                clr             temp1
                add             zl,temp0
                adc             zh,temp1
                lpm             temp0,z
                ret

ver_s:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(critica*2)
                ldi             zl,low(critica*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_p:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(por*2)
                ldi             zl,low(por*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_v:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(vel*2)
                ldi             zl,low(vel*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_d:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(distancia*2)
                ldi             zl,low(distancia*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_a:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(alarma*2)
                ldi             zl,low(alarma*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_n:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                ldi             zh,high(nada*2)
                ldi             zl,low(nada*2)
                ldi             temp1,0
                rcall   dat_carg
                ret

ver_num:rcall   car_num
                ldi             temp1,0
                rcall   mostrar
                ret
```

```
dat_carg:
                lpm             temp0,z+
                cpi             temp0,0
                breq    end_dat
                rcall   mostrar
                rjmp    dat_carg
end_dat:ret

mostrar:
                sbi             portd,2
                sbi             portd,3
                out             bus_lcd,temp0
                rcall   retardo
                cbi             portd,3
                ret

bin_bcd:
                clr             unidad
                clr             decena
                clr             centena
cmp1:   cpi             temp3,100
                brlo    cmp2
                inc             centena
                subi    temp3,100
                rjmp    cmp1
cmp2:   cpi             temp3,10
                brlo    cmp3
                inc             decena
                subi    temp3,10
                rjmp    cmp2
cmp3:   mov             unidad,temp3
                ret

poner:  rcall   bin_bcd

pon_u:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                mov             temp0,unidad
                rcall   ver_num
                ret

pon_d:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                mov             temp0,decena
                rcall   ver_num
                ret

pon_c:  ldi             temp1,3                         ;54us
                rcall   secuencia
                mov             temp0,centena
                rcall   ver_num
                ret

read:
                ldi             temp0,0x00
                out     udr,temp0
                call    espera1
                ldi             temp0,0x54
                out     udr,temp0
                call    espera1
                ret


espera_adc:
                sbis    adcsra,4
                rjmp    espera_adc
                ret

start_t0:
                in              temp0,tccr0
                ori             temp0,0b00000101
                out             tccr0,temp0
                ret
```

```
stop_t0:
                clr             temp0
                out             tcnt0,temp0
                in              temp0,tccr0
                andi    temp0,0b11111000
                out             tccr0,temp0
                ret

espera1:
                lazo_espera1:
                sbis    ucsra,udre
                rjmp    lazo_espera1
                ret

wait2:
                clr     temp0

        lazo_espera2:
                dec     temp0
                brne    lazo_espera2
                ret

dato_rec:
                push    temp0
                in              temp0,udr
                mov             cnt,temp0
                pop             temp0
                reti

TIM0_COMP:
                cli
                push    temp0
                rcall   stop_t0
                clr             temp0
                out             adch,temp0
                out             admux,temp0
lazo:
                sbis    pind,6
                rjmp            manual
                sbic    pind,6
                rjmp            hmi
                rjmp    lazo

manual:
                ldi             temp0,0b01100000
                out             admux,temp0
                sbi     adcsra,6
                rcall   espera_adc
                rjmp    continuar

hmi:
                ldi             temp0,0b01100001
                out             admux,temp0
                sbi     adcsra,6
                rcall   espera_adc

continuar:
                in              velo,adch
                cpi             velo,125
                brsh    rest
                lsr             velo
                rjmp    last
                rest:
                lsr             velo
                subi    velo,-74
                lsr             velo
                last:
                nop
                clr             temp0
                out             adch,temp0
                out             admux,temp0

lazo1:
                sbis    pind,6
```

```
                rjmp            manual1
                sbic    pind,6
                rjmp            hmi1
                rjmp    lazo1

manual1:
                ldi             temp0,0b01100010
                out             admux,temp0
                sbi     adcsra,6
                rcall   espera_adc
                rjmp    continuar1

hmi1:
                ldi             temp0,0b01100011
                out             admux,temp0
                sbi     adcsra,6
                rcall   espera_adc

continuar1:
                in              setp,adch
                call    wait2
                call    read
                rcall   start_t0
                pop             temp0
                sei
                reti

texto1:
.db "       DETECTOR    ",0,0

texto2:
.db "  DE  AGUJEROS  ",0,0

vel:
.db "Velo:     ",0,0

tnum:
.db "0","1","2","3","4","5","6","7","8","9"

critica:
.db "S.P:",0,0

distancia:
.db         "Dist:   (cm)",0,0

alarma:
.db "Hole",0,0

nada:
.db "    ",0,0

por:
.db 0b00100101,"",0,0
```

2 PROGRAMA PARA EL COMPUTADOR PERSONAL

```
/*
 * motor.asm
 *
 *  Created: 26/12/2011 21:31:56
 *   Author: This is me
 */
 .include "m8def.inc"

.def        aux=r16
.def        aux1=r17
.def        temp0=r18
.def        rec=r19

.org        0x00
                rjmp    inicio
```

```
.org    0x01
        rjmp    inte1

inicio:
        ser     aux
        out     ddrb,aux
        ldi     aux1,high(ramend)
        out     sph,aux1
        ldi     aux1,low(ramend)
        out     spl,aux1
        ldi     aux,0b11110000
        out     ddrd,aux
        ldi     aux,0b00001011
        out     portd,aux
        cbi     ddrc,1
        sbi     portc,1
        cbi     ddrc,2
        sbi     portc,2

        ldi     aux,0b01111000
        out     tccr2,aux

        ldi     aux,0b10100001
        out     tccr1a,aux
        ldi     aux,0b00001000
        out     tccr1b,aux
        ldi     aux,high(0)
        ldi     aux1,low(0)
        out     ocr1ah,aux
        out     ocr1al,aux1
        out     ocr1bh,aux
        out     ocr1bl,aux1

        ldi     aux,0b00000011
        out     mcucr,aux
        ldi     aux,0b01000000
        out     gicr,aux

        sbi     adcsra,7

        ldi     rec,200
        ldi     temp0,0
        sei

main:
        ldi     aux,0b01100000
        out     admux,aux
        sbi     adcsra,6
        rcall   espera_adc
        in      rec,adch
        rjmp    main

espera_adc:
        sbis    adcsra,4
        rjmp    espera_adc
        ret


inte1:
        cli
        sbis    pind,1
        rjmp    front
        sbis    pind,0
        rjmp    back
        sbis    pinc,2
        rjmp    left
        sbis    pinc,1
        rjmp    right
        sei
        reti

front:
        ldi     aux,0b01011000
        out     tccr2,aux
```

```
                clr             aux
                out             ocr2,aux
                ldi             aux,0b00001010
                out             tccr1b,aux
                out             ocr1al,rec
                out             ocr1bl,rec
                sbi             portd,4
                sbi             portd,5
                cbi             portb,3
                sei
                reti

back:
                sbis    pind,1
                reti
                cbi             portd,4
                cbi             portd,5
                ldi             aux,0b00001010
                out             tccr1b,aux
                clr             aux
                out             ocr1al,aux
                clr             aux
                out             ocr1bl,aux
                sbi             portd,4
                sbi             portd,5
                ldi             aux,0b01101010
                out             tccr2,aux
                out             ocr2,rec
                sei
                reti

left:
                sbis    pind,0
                reti
                sbis    pind,1
                reti
                cbi             portd,4
                cbi             portd,5
                ldi             aux,0b00001000
                out             tccr1b,aux
                ldi             aux,0b01011000
                out             tccr2,aux
                clr             aux
                out             ocr2,aux
                cbi             portb,2
                cbi             portb,3
                sbi             portd,4
                ldi             aux,0b00001010
                out             tccr1b,aux
                out             ocr1al,rec
                clr             aux
                out             ocr1bl,aux
                sei
                reti

right:
                sbis    pind,0
                reti
                sbis    pind,1
                reti
                sbis    pinc,2
                reti
                cbi             portd,4
                cbi             portd,5
                ldi             aux,0b00001000
                out             tccr1b,aux
                ldi             aux,0b01011000
                out             tccr2,aux
                clr             aux
                out             ocr2,aux
                cbi             portb,1
                cbi             portb,3
                sbi             portd,5
                ldi             aux,0b00001010
```

```
out     tccr1b,aux
out     ocr1bl,rec
clr     aux
out     ocr1al,aux
sei
reti
```

ANEXO B

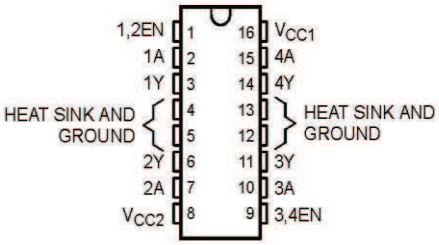
ESPECIFICACIONES DEL CIRCUITO INTEGRADO L293

L293, L293D
QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

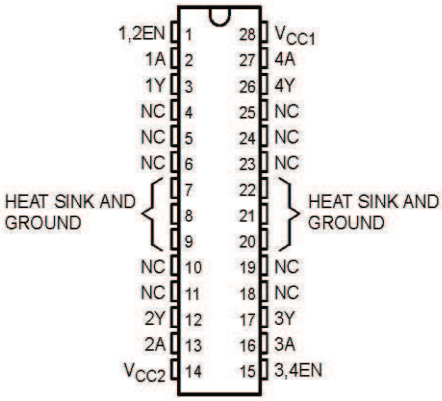
SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

- **Featuring Unitrode L293 and L293D Products Now From Texas Instruments**
- **Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V**
- **Separate Input-Logic Supply**
- **Internal ESD Protection**
- **Thermal Shutdown**
- **High-Noise-Immunity Inputs**
- **Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D**
- **Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)**
- **Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)**
- **Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)**

N, NE PACKAGE
(TOP VIEW)



DWP PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2}, is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

The L293and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265