



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

## IMPLEMENTACION DE ALGORITMOS DE CONTROL DE MOVIMIENTO A ROBOT DE 2 MOTORES BASADO EN ARQUITECTURA PROGRAMABLE

### **Presentan:**

Ballinas Hernández Juan Carlos

Escobar Pérez Lorena

### **Especialidad:**

Ing. Electrónica.

### **Asesor:**

Dr. Hector Hernández de León

## **RESIDENCIA PROFESIONAL**

**Agosto – Diciembre 2010**

# ÍNDICE

---

	<b>Página</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>5</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>6</b>
<b>1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>	<b>7</b>
1.4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	<b>7</b>
<b>1.5. CARACTERIZACION DEL AREA EN QUE PARTICIPO</b>	<b>8</b>
1.5.1. MISIÓN, VISIÓN Y VALORES DE LA INSTITUCIÓN	<b>9</b>
<b>1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES</b>	<b>11</b>
<b>1.7. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>12</b>
1.7.1. ALGORITMOS DE CONTROL	<b>12</b>
1.7.2. CARACTERISTICAS DE SENSORES ULTRASONICOS	<b>25</b>
1.7.3. ARDUINO	<b>29</b>
<b>1.8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>32</b>
<b>1.9. CONCLUSIONES</b>	<b>39</b>
<b>1.10. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>40</b>

## ***1.1 INTRODUCCION***

---

El campo de la robótica móvil se está convirtiendo en uno de los más interesantes en los últimos tiempos. La navegación autónoma ha sido, y es, un campo de investigación muy activo en las últimas décadas, con importantes avances que han permitido la integración de robots móviles en el ámbito industrial e incluso en el ámbito doméstico, que si bien se encuentra en su fase inicial presenta buenas perspectivas. Este ámbito presenta un campo de aplicaciones bastante amplio en la navegación de robots móviles autónomos para realizar diferentes tareas.

Hoy en día existe una gran variedad de dispositivos electrónicos como electrodomésticos, vehículos, robots, etc. que utilizan algoritmos de control dentro de sus sistemas centrales de procesamiento. Estos algoritmos pueden ser desde mecanismos tradicionales de on-off o control tipo PID hasta más avanzado como control predictivo o por redes neuronales. Con una tendencia en la industria en contar con más dispositivos autónomos e inteligentes, existe la oportunidad de diseñar e implementar nuevos algoritmos de control más avanzados y complejos para nuevos tipos de aplicaciones.

En este artículo se presenta el diseño e implementación de algoritmos de control a un circuito digital programable que permita el control de movimiento a un robot de 2 motores para que dicho robot pueda realizar movimientos básicos.

La idea de este proyecto es crear una aplicación para un robot móvil, por lo cual nuestro propósito es diseñar e implementar un robot móvil, que pueda desplazarse a través de un entorno y poder esquivar objetos con el fin de realizar movimientos en tiempo real.

De esta forma se pretende crear rutinas básicas de comportamientos sencillos que puedan ser utilizados como base para futuros desarrollos más elaborados.

## ***1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

---

Existen diversos algoritmos de control de movimiento implementados mediante dispositivos programables como son microcontroladores o FPGAs que pueden brindarle a un robot movimiento, inteligencia y autonomía. Estas aplicaciones por lo general desempeñan una funcionalidad aceptable, aunque presentan algunos inconvenientes, en el caso del uso de FPGAs resulta costosa su adquisición, una alternativa muy conveniente son los microcontroladores de la familia Atmega incluidos en las placas de circuito impreso Arduino ya que debido a su estructura de software ofrece muchas facilidades y simplicidad en la programación, y con esto mejora la rapidez del procesamiento de la información en comparación con los microcontroladores convencionales.

Las herramientas de software que nos proporciona el Arduino, como lo son el poder adaptarle sensores nos ayuda a que el robot pueda tomar acciones para su libre movimiento, esto es de gran ayuda ya que uno de los problemas que mas se presentan en la elaboración de robots es el no poder responder rapidamente al cambio de direcciones.

### ***1.3. JUSTIFICACION***

---

El proyecto se origina a traves de la necesidad de crear robots autónomos capaces de esquivar objetos o algo que impida el paso o el fin de este, para ello se hara uso del kit de desarrollo **Arduino uno**, ya que presenta multiples ventajas económicas y de rapidez de respuesta debido a su estructura de software, y de este modo lograr la implementación de algoritmos de control para un robot de 2 motores.

Otro motivo por el que se decidió usar este dispositivo programable es por que debido a sus características nos da las herramientas para poder establecer las bases para en un futuro poder implementar algoritmos de control mas avanzados mediante la utilización de hardware especializado como son camaras SD o algún otro dispositivo.

Los sensores utilizados fueron ultrasónicos ya que su principal ventaja es que porporciona un mayor alcance de medición de distancia esto es importante para que el robot pueda tomar acciones en cuanto a la velocidad que llegue a alcanzar debido a la presencia del objeto o cualquier obstrucción en el camino. Otra acción importante gracias a estos sensores es la respuesta que tiene el robot a cambiar su dirección sin problema alguno y asi poder seguir su trayectoria.

El tipo de algoritmo para el control que se empleara para la realización de este proyecto sera uno de tipo ON-OFF ya éste tipo de control tienen dos posiciones estables, conmutando entre uno y otro según el valor de la entrada  $E(s)$  que sera proporcionada por los sensores ultrasónicos. Para evitar que el control conmute en forma descontrolada, la variable de control  $m(s)$  cambiará de valor sólo cuando  $E(s)$  presente valores fuera de un cierto intervalo que sera definido como constante en el Microcontrolador, de esta manera se define como zona muerta ó brecha diferencial al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta.

## ***1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO***

---

Diseñar e implementar un circuito digital programable de gran eficiencia y coste accesible que permita el control de movimiento a robot de 2 motores mediante un algoritmo adecuado que le permita encontrar una trayectoria libre esquivando los objetos que puedan interponer su paso.

Documentar y elegir un algoritmo de control adecuado para la realización de las tareas antes mencionada.

### **1.4.1. Objetivos específicos:**

1. Conocer los diferentes algoritmos básicos de control de movimientos de robot y sus implementaciones en un circuito digital.

2. Diseñar y desarrollar algoritmos capaces de proporcionar movimiento controlado a robot móvil equipado con 2 motores.
3. Implementación de los algoritmos de control de movimiento a robot en un circuito digital programable
4. Procedimiento de pruebas de los algoritmos implementados

### ***1.5. CARACTERIZACION DEL AREA EN QUE PARTICIPO***

---

El desarrollo del presente trabajo de residencia profesional fue desarrollado en el Área de Posgrado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



*Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez*



El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez es una institución pública dependiente de la Secretaría de Educación Pública. Imparte 9 licenciaturas y 2 programas de posgrado.

### **1.5.1. Misión, visión y valores de la institución**

**Misión:** Formar de manera integral profesionistas de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

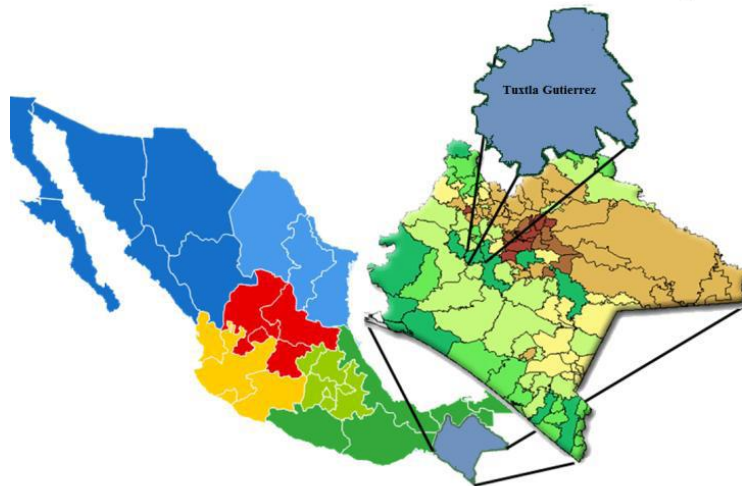
**Visión:** Ser una Institución de excelencia en la educación superior tecnológica del Sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

**Valores:** El ser humano, el espíritu de servicio, el liderazgo, el trabajo en equipo, la calidad y el alto desempeño.

### **1.5.2. Ubicación geográfica del área**

#### **Macrolocalización**

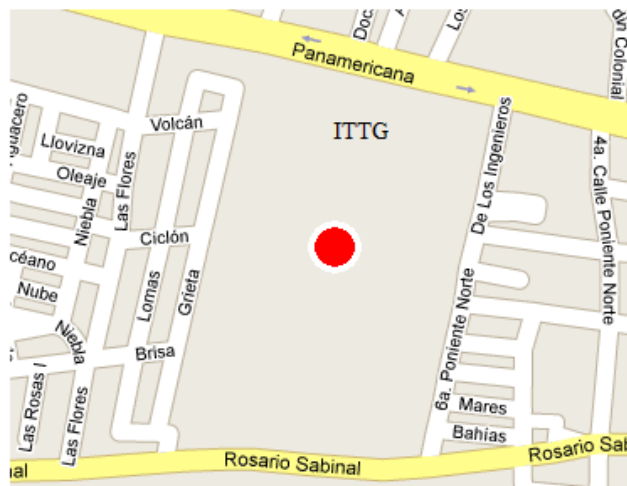
El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez se encuentra localizado en el país Estados Unidos Mexicanos, específicamente en la Ciudad llamada Tuxtla Gutiérrez capital política del estado de Chiapas al sureste del país antes mencionado. La Figura muestra la ubicación de Tuxtla Gutiérrez.



*Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*

### Macrolocalización

Las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez se ubican dentro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. La dirección de ésta institución educativa es Carretera Panamericana Km. 1080. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C. P. 29000, Apartado Postal 599 (Ver Figura).



*Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez*

## ***1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES***

---

El proyecto esta planteado para proporcionar las posibles bases para la implementacion de proyectos mas avanzados, usando como unidad de proceso el Arduino proporcionando movimientos controlados que puedan ayudar a la realizacion de tareas o procesos mas avanzados implementando incluso herramientas mas complejas como la visión por computadora o algun otro tipo de control.

En la etapa a desarrollar en este proyecto se implementaran sensores ultrasonicos SRF02 junto con el arduino para dar movimiento al robot de 2 motores mediante la implementacion de algoritmos de control que procesen las señales emitidas por los sensores y de este modo darle la capacidad al robot de poder encontrar trayectorias o caminos a seguir evadiendo los obstaculos que se le interpongan.

Otra limitacion importante en el desarrollo del presente proyecto es que los sensores ultrasonicos no tienen una buena respuesta para objetos que no tienen una superficie plana de reflexion, y que dependen en gran medida del angulo con el que se encuentra a los objetos, ya que si el objeto presenta una desviacion de los paquetes transmitidos no sera capaz de detectarlo.

## **1.7. FUNDAMENTO TEORICO**

---

### **1.7.1. ALGORITMOS DE CONTROL**

La forma de ajustar el proceso en función del error se le denomina el algoritmo de control.

Algunos de los algoritmos básicos en control clásico son: control On-off, control proporcional, control integral, control derivativo, control proporcional derivativo (PD), control proporcional integral (PI), control proporcional integral derivativo (PID).

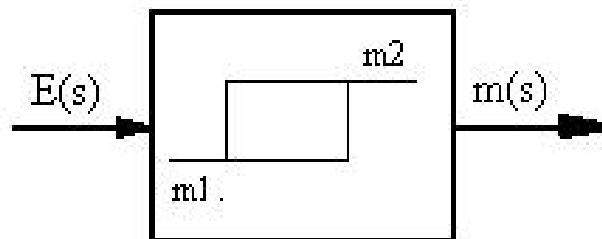
#### **On – off**

Los controladores de éste tipo tienen dos posiciones estables, conmutando entre uno y otro según el valor de  $E(s)$ . Para evitar que el control conmute en forma descontrolada, la variable de control  $m(s)$

cambiará de valor sólo cuando  $E(s)$  presente valores fuera de un cierto intervalo, de esta manera se define como zona muerta ó brecha diferencial al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta.

La brecha diferencial permite que el controlador no conmute indiscriminadamente ante pequeñas variaciones de  $E(s)$ , (en general debido a ruidos).

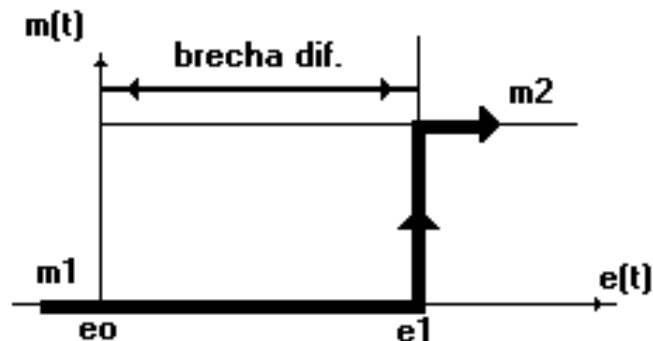
Lo anterior se puede expresar con un diagrama de un bloque donde las variables son: la de entrada : el error (diferencia entre el valor deseado y el realmente existente): la de salida : variable de control sin embargo este tipo de controles no puede tener un tratamiento como bloque de un sistema lineal pues el control on off no lo es.



En la excursión ascendente del error la señal de control pasa a estado alto cuando  $e > e1$  y en la excursión descendente de  $e$  la señal de control pasa a estado bajo cuando  $e < e0$  la entonces como dijimos el intervalo

[  $e0$  ,  $e1$  ] se denomina brecha diferencial.

Representado en el dominio del tiempo se ve así:

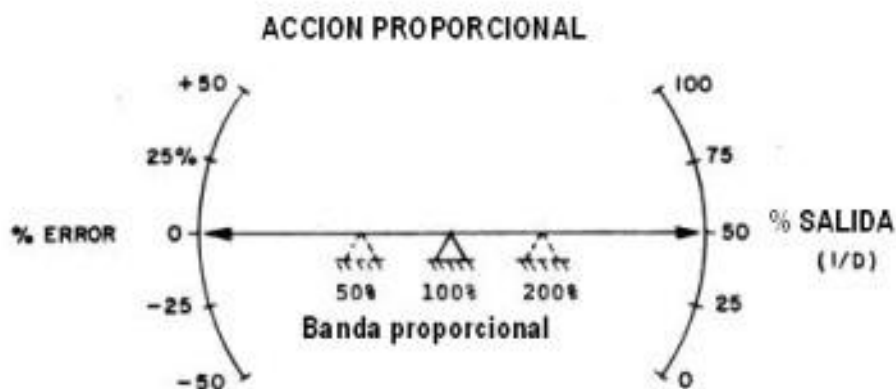


## CONTROL PROPORCIONAL

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos, control integral y control derivativo están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. “Proporcional” significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje del cambio en la medición.

Este múltiplo es llamado “ganancia” del controlador. Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una “banda proporcional”. Ambos tienen los mismos propósitos y efectos.

La figura muestra la respuesta de un controlador proporcional por medio de un indicador de entrada/salida pivotando en una de estas posiciones.



Con el pivote en el centro entre la entrada y la salida dentro del gráfico, un cambio del 100% en la medición es requerido para obtener un 100% de cambio en la salida, o un desplazamiento completo de la válvula. Un controlador ajustado para responder de ésta manera se dice que tiene una banda proporcional del 100%. Cuando el pivote es hacia la derecha, la

medición de la entrada debería tener un cambio del 200% para poder obtener un cambio de salida completo desde el 0% al 100%, esto es una banda proporcional del 200%. Finalmente, si el pivot estuviera en la posición izquierda y si la medición se moviera sólo cerca del 50% de la escala, la salida cambiaría 100% en la escala. Esto es un valor de banda proporcional del 50%. Por lo tanto, cuanto mas chica sea la banda proporcional, menor será la cantidad que la medición debe cambiar para el mismo tamaño de cambio en la medición. O, en otras palabras, menor banda proporcional implica mayor cambio de salida para el mismo tamaño de medición. Esta misma relación está representada por la figura.

El gráfico muestra cómo la salida del controlador responderá a medida que la medición se desvía del valor de consigna. Cada línea sobre el gráfico representa un ajuste particular de la banda proporcional. Dos propiedades básicas del control proporcional pueden ser observadas a partir de éste gráfico:

Por cada valor de la banda proporcional toda vez que la medición se iguala al valor de consigna, la salida es del 50%. Cada valor de la banda proporcional define una relación única entre la medición y la salida. Por cada valor de medición existe un valor específico de salida. Por ejemplo, usando una línea de banda proporcional del 100%, cuando la medición está 25% por encima del valor de consigna, la salida del controlador deberá ser del 25%. La salida del controlador puede ser del 25% sólo si la medición esta 25% por encima del valor de consigna. De la misma manera, cuando la salida del controlador es del 25%, la medición será del 25% por

encima del valor de consigna. En otras palabras, existe un valor específico de salida por cada valor de medición.

Idealmente, la banda proporcional correcta producirá una amortiguación de amplitud de un cuarto de ciclo en cada ciclo, en el cual cada medio ciclo es  $\frac{1}{2}$  de la amplitud del medio ciclo previo. La banda proporcional que causará una amortiguación de onda de un cuarto de ciclo será menor, y por lo tanto alcanzará un control mas ajustado sobre la variable medida, a medida que el tiempo muerto en el proceso decrece y la capacidad se incrementa.

Una consecuencia de la aplicación del control proporcional al lazo básico de control es el offset. Offset significa que el controlador mantendrá la medida a un valor diferente del valor de consigna. Esto es mas fácilmente visto al observar la figura.



Note que si la válvula de carga es abierta, el caudal se incrementará a través de la válvula y el nivel comenzará a caer, de manera de mantener el



nivel, la válvula de suministro debería abrirse, pero teniendo en cuenta la acción proporcional del lazo el incremento en la posición de apertura puede sólo ser alcanzado a un nivel menor.

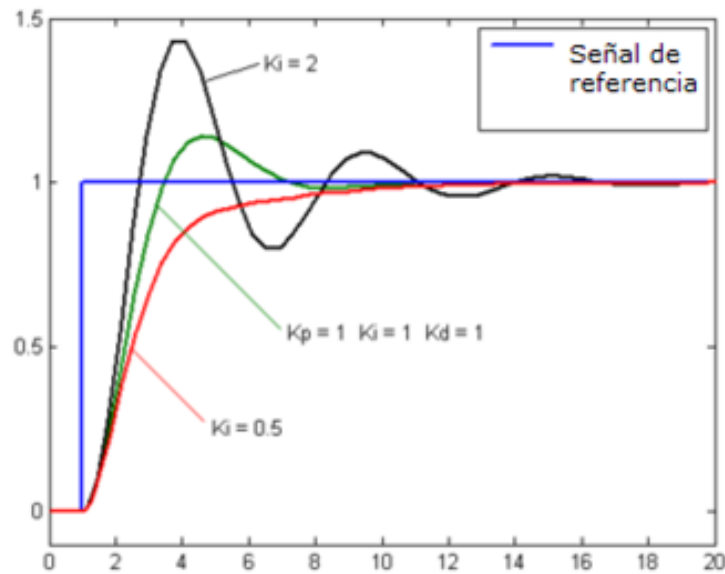
En otras palabras, para restaurar el balance entre el caudal de entrada y el de salida, el nivel se debe estabilizar a un valor debajo del valor de consigna (o setpoint). Esta diferencia, que será mantenida por el lazo de control, es llamada offset, y es característica de la aplicación del control proporcional único en los lazos de realimentación.

La aceptabilidad de los controles sólo-proporcionales dependen de si este valor de offset será o no tolerado, ya que el error necesario para producir cualquier salida disminuye con la banda proporcional, cuanto menor sea la banda proporcional, menor será el offset. Para grandes capacidades, aplicaciones de tiempo muerto pequeñas que acepten una banda proporcional muy estrecha, el control sóloproporcional será probablemente satisfactorio dado que la medición se mantendrá a una banda de un pequeño porcentaje alrededor del valor de consigna.

## **CONTROL INTEGRAL**

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante  $I$ . Posteriormente, la respuesta integral es

adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.



Gráfica de control Integral

El modo integral presenta un desfaseamiento en la respuesta de  $90^\circ$  que sumados a los  $180^\circ$  de la retroalimentación ( negativa ) acercan al proceso a tener un retraso de  $270^\circ$ , luego entonces solo será necesario que el tiempo muerto contribuya con  $90^\circ$  de retardo para provocar la oscilación del proceso. La ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional.

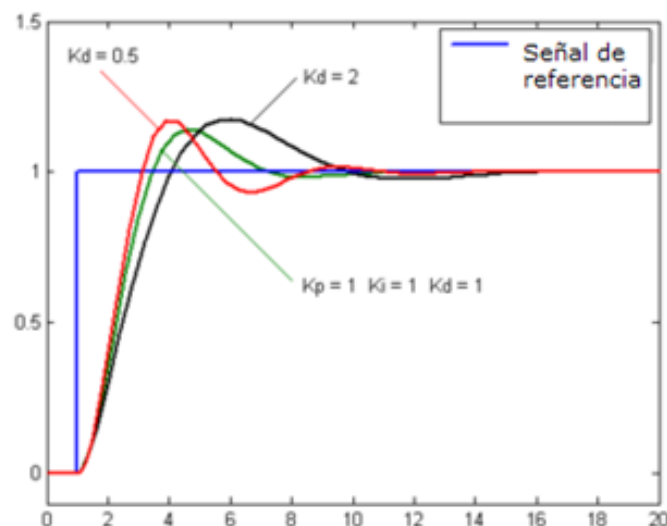
El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

La formula del integral esta dada por: 
$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

### **CONTROL DERIVATIVO**

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral).

El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point".



Gráfica de control Derivativo

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores (P+I). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

La fórmula del derivativo esta dada por:  $D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones

Ejemplo: Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

### **CONTROLADOR PROPORCIONAL DERIVATIVO**

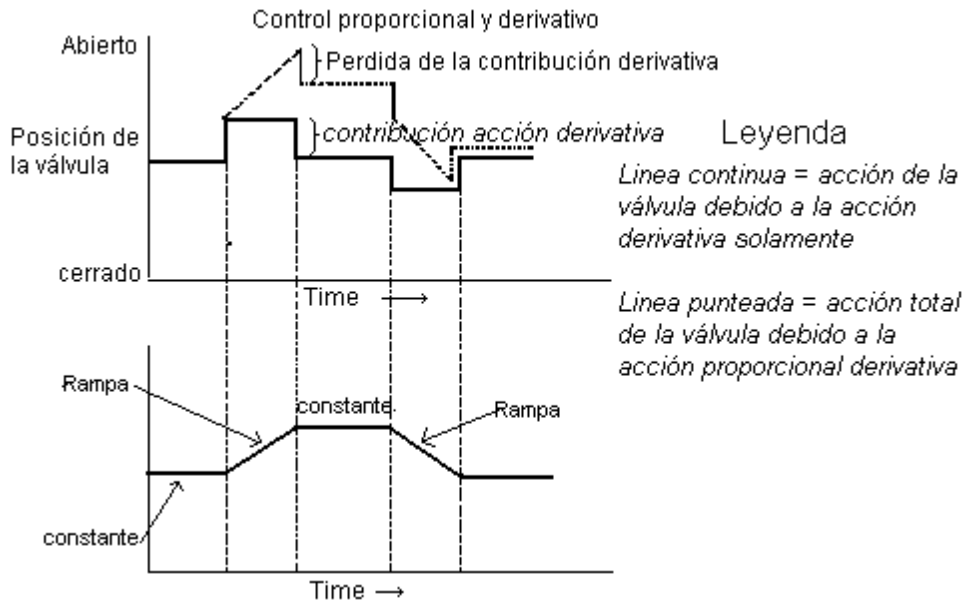
Este control no elimina el off-set producido por el control proporcional , sin embargo puede colocarse en sistemas con cambios rápidos mientras que el off-set sea aceptable. Su representación matemática viene dada por la expresión :

$$m(t) = K_p E(t) + K_p T_d \frac{dE(t)}{dt}$$

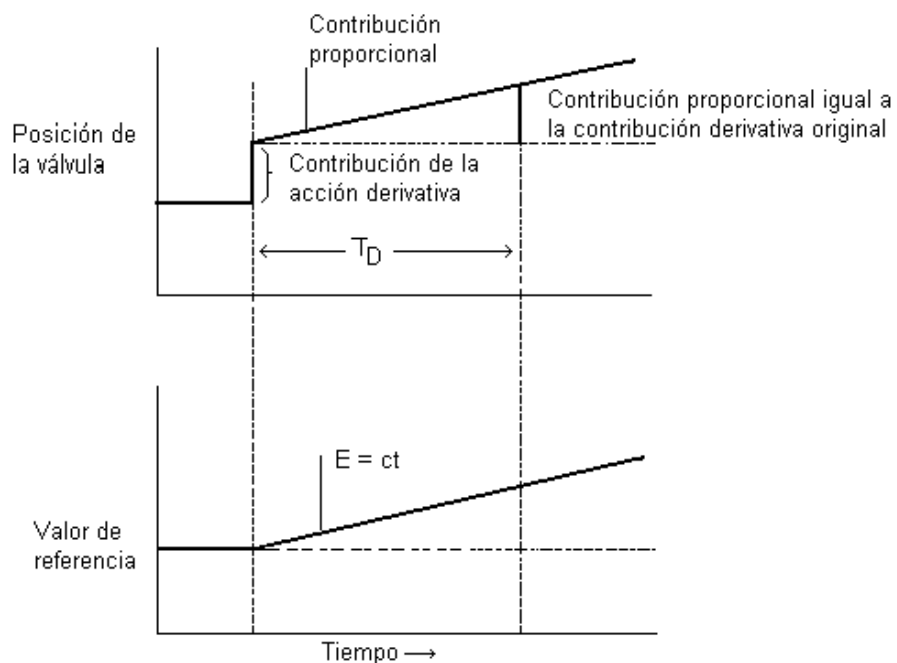
y la correspondiente función de transferencia por:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d \cdot s)$$

Como se puede apreciar anterior, este tipo de controlador introduce un cero en la función de transferencia de lazo abierto. Esta acción derivativa tiene como ventaja anticiparse al error.



Cambios de la válvula causados por cambios en los valores de referencia



Acción derivativa debido a un valor de referencia tipo rampa

## **CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL**

Al agregar la acción integral a la proporcional se elimina el offset. Industrialmente se usa el P I y no el I puro.

Este tipo de control puede ser empleado en sistemas que tienen grandes cambios, pero estos a su vez , deben ser lentos para evitar sobreimpulsos producidos por el tiempo de integración. Una desventaja es que durante el arranque de procesos batch, la acción integral causa considerables impulsos del error antes de alcanzar el punto de operación.

La expresión matemáticas que define a este tipo de controlador es:

$$m(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int E(t) + m_0$$

y la función de transferencia correspondiente es:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

donde  $T_i$  es el tiempo integral, cuya función es regular la acción intgral. Su recíproco recibe el nombre de frecuencia de reposición y mide las veces que por unidad de tiempo se repite la acción “proporcional”.

Esta clase de controlador incrementa el tipo de un sistema. En general su efecto se traduce en disminuir apreciablemente el error en estado estacionario a costa de una desmejora de la parte transiente de la respuesta del sistema controlado.

## **CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO (PID)**

Todos los modos descritos, tanto como el simple controlador On/Off, usan la misma señal de error. Sin embargo, cada uno de ellos usa diferentes caminos:

- El modo de control On/Off usa información sobre la presencia del error.
- El modo proporcional usa información sobre la magnitud del error.
- El modo integral usa información sobre el error promedio en un período de tiempo.
- El modo derivativo usa información sobre la velocidad en el cambio del error.

En todos los casos, el objetivo es mantener a la variable controlada tan cerca al punto de referencia como sea posible.

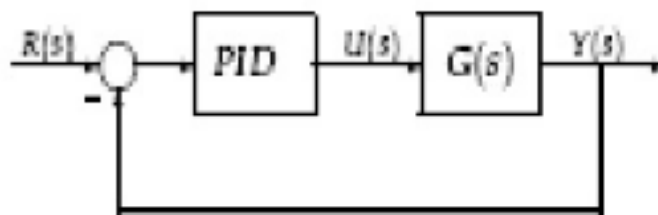
La acción derivativa es generalmente usada en conjunto con una acción proporcional e integral. Este tipo de controlador resultante es llamado “controlador PID” denominado controlador trimodo.

Si se puede obtener el modelo matemático del proceso, entonces es posible aplicar varias técnicas para determinar los parámetros de este cumpliendo con las especificaciones transitorias y de estado estacionario del sistema de control de lazo cerrado. Sin embargo si el proceso es tan complicado no encontrando su modelo matemático, es imposible el método analítico de diseño de un controlador PID.



Se debe recurrir a modelos experimentales para el diseño de controladores PID. Este proceso se conoce como calibración o sintonía del controlador. Zieger y Nichols sugirieron reglas para afinar controladores PID.

Consideremos un lazo de control de una entrada y una salida de un grado de libertad:



*Diagrama a bloques*

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

### **1.7.2 CARACTERÍSTICAS DE SENSORES ULTRASONICOS**

Un sensor ultrasónico de distancia mide empleando un transductor que emite “paquetes” de ultrasonido que contienen una serie de ondas sonoras intermitentes. El paquete se emite en forma cónica, se rebota o refleja en la superficie objetivo y se recibe e regreso en un transductor. El tiempo requerido por el sonido para ir y volver se mide y se convierte a unidades de distancia.

Varios factores afectan la medición con ultrasonido: la naturaleza de la superficie, el ángulo del cono y la distancia el sensor objetivo.

La condiciones ambientales como son temperatura, humedad relativa, gases, vapores y la presión también afectan.

Los sensores están diseñados con ajustes ya sean manuales o automáticos para compensar la mayoría de estas condiciones cambiantes.

Las siguientes consideraciones aseguran la correcta selección de condiciones de operación:

### **Superficie**

La superficie-objetivo ideal es dura y lisa. Esta reflejará una mayor cantidad de señal que una superficie suave y rugosa. Un eco débil, resultante de un objetivo pequeño o suave reduce la distancia de operación del sensor y disminuye su exactitud.

### **Distancia**

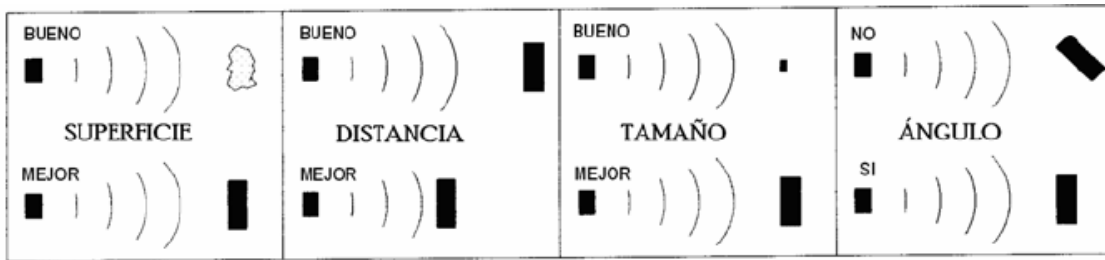
Mientras más corta sea la distancia al objetivo, será más fuerte el eco. De modo que si la distancia aumenta requerimos mejores características reflejantes en la superficie objetivo.

### **Tamaño**

Un objetivo grande tendrá mayor superficie para rebotar la señal que un objetivo pequeño. La porción de superficie reconocida como “objetivo” es normalmente la más cercana al sensor.

### **Ángulo**

La inclinación de la superficie objetivo afecta la reflectividad. La parte que sea perpendicular ( $90^\circ$ ) al sensor es la rebota el eco. Si la superficie total está inclinada fuertemente la señal será rebotada alejándola del sensor y no detectará eco.

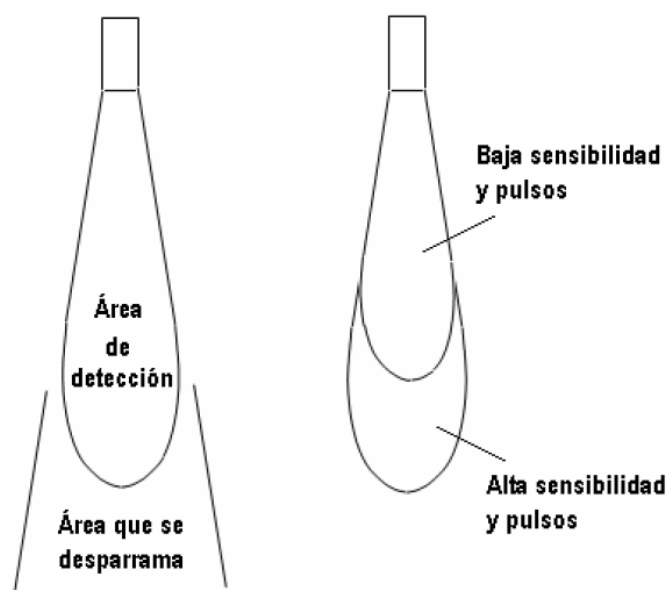


*Modo de proyeccion de paquetes ultrasónicos*

El patrón del haz producido por el sensor se expresa en número de grados que el haz se separa de la línea central del sensor. El haz se desparrama con un patrón cónico a partir del transductor y aunque el haz ultrasónico continúa desparramándose, el área de detección del sensor empieza a acortarse respecto al rango de operación publicado.

El área de censado se ve afectada por el número de pulsos enviado por el sensor y por el nivel de sensibilidad. A nivel alto de pulsos y sensibilidad, mayor superficie que a niveles bajos.

Los dibujos ilustran estos principios.



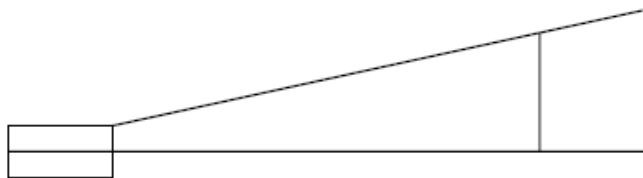
Calcular el área en que se desparrama el haz ultrasónico empleando una simple fórmula de trigonometría:

$$a = b * \tan A$$

Donde a = b desviación del eje del sensor

b = distancia

A = ángulo de separación del haz ultrasónico



Tangentes de ángulos populares  
entre los sensores ultrasónicos:

$$7^\circ = 0.12278$$

$$8^\circ = 0.14054$$

$$9^\circ = 0.15838$$

Idealmente el área del objetivo debe exceder el diámetro de haz desparramado a la distancia del rango de censado requerido.

Este tipo de sensores están diseñados para producir ondas sonoras ultrasónicas de una manera continua sin puntos ciegos o lagunas en el patrón de cobertura. Esto hace posible la detección de movimientos.

Algunos de estos dispositivos están equipados con función táctil externa que permite al usuario programar a distancia la mejor gama de exploración para la aplicación. También pueden tener características de bloqueo de dispositivo que impide la salida de los cambios de programación. Además de la detección de movimiento humano, también

tienen la capacidad de detectar cualquier material que pueda recuperarse de sonido tales como los líquidos y los sustratos clara como el plástico y el vidrio.

sensores de ultrasonidos también se utilizan en diferentes sectores industriales como el farmacéutico, médico, alimentos, cosméticos y del hogar y el cuidado personal de fabricación. Han permitido la detección de pequeños defectos en los productos durante el proceso de producción, que si no se controla puede dañar el valor de la marca de un producto o empresa.

### **1.7.3. ARDUINO**

Es una plataforma de hardware libre basada en los microcontroladores Atmega (168, 328, 8 y 1280). Estos chips son de bajo costo y permiten desarrollar rápidamente prototipos y aplicaciones específicas. Al ser open source hardware, las especificaciones se encuentran disponibles abiertamente.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de

hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Para su programación, lleva implementado un lenguaje del tipo Processing/Wiring muy similar a C. La compilación de los "sketches" (códigos) se realizan usando una interfaz gráfica en Java, y subido posteriormente al microcontrolador conectado a un puerto USB (que emula RS232).

El costo de un Arduino Duemilanove Atmega328 "hecho en China" ronda los 25 dólares, y si te decantás por otro diseño como ser el Metaboard de Metalab (Vienna) podés reducirlo a unos 15 dólares. En Argentina, el Arduino original "made in Italy" se puede conseguir en <http://ditentec.com.ar/> creo que por cerca de 120 pesos.

El diseño de la placa del Arduino permite agregar "módulos" llamados "shields" concatenándolos, que expanden la conectividad y aplicaciones del sistema y/o reducen la carga computacional del micro (p.ej. para Audio DSP). Los módulos más comunes son de GPS, tarjeta SD, ethernet, Xbee (wireless), bluetooth, touchshield para 4D OLED e I/O expandidos, entre otras.

El microcontrolador por defecto no posee sistema operativo (lo cual es lógico). Tan solo existe un bootloader que carga el programa y lo inicializa. Pero... para tareas de scheduling, se han desarrollado varios sistemas operativos (DuinOS, TaOS, FreeRTOS) que permiten programar varias "tareas" que correrán simultáneamente.

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues eres libre de adaptarlos a tus necesidades.

Arduino recibió una Mención Honorífica en la sección Digital Communities de la edición del 2006 del Ars Electronica Prix. El equipo Arduino (Arduino team) es: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, and David Mellis. Credits

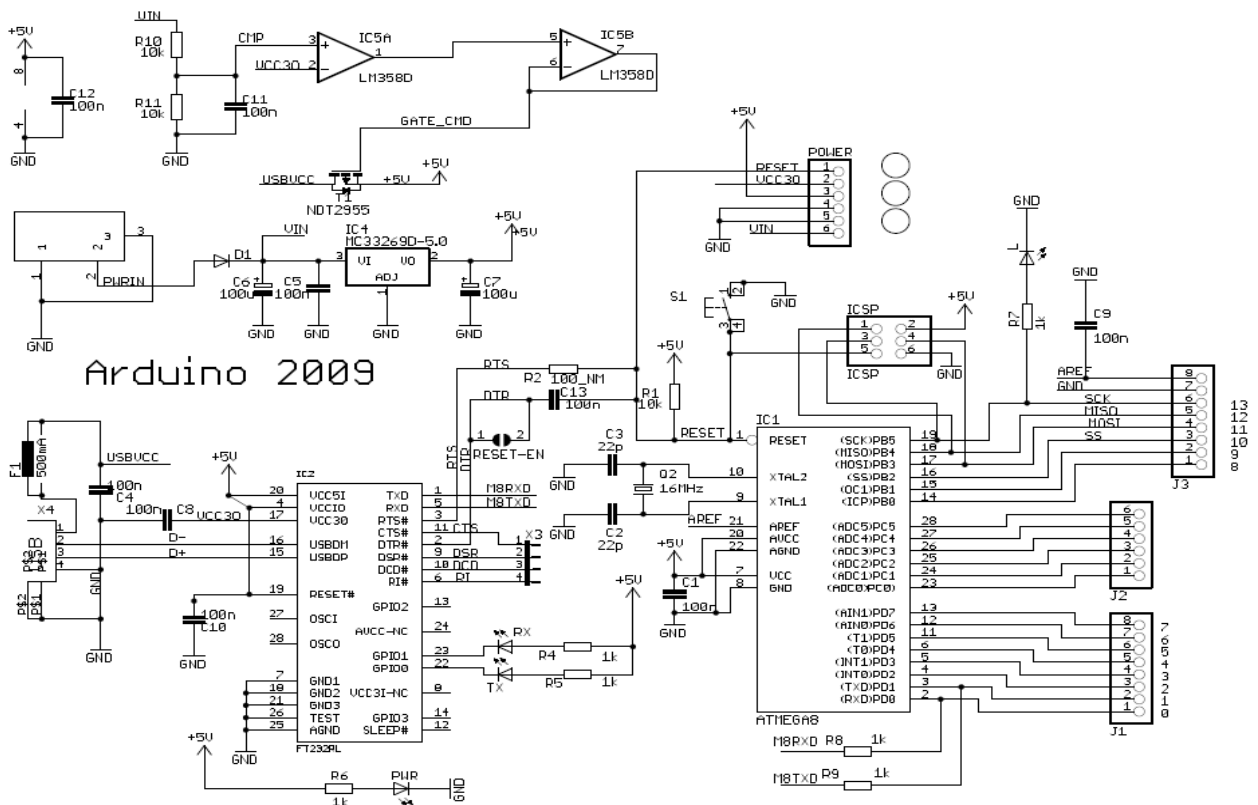


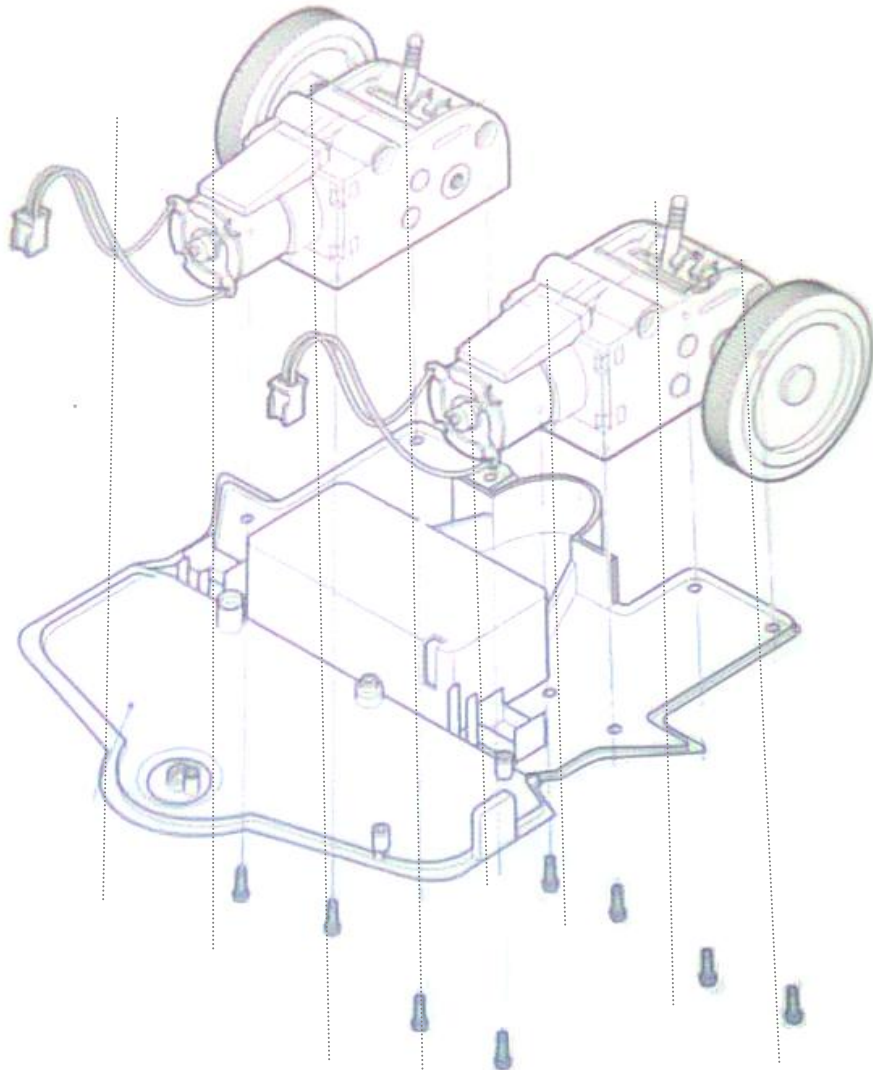
Diagrama esquemático de Arduino

## ***1.8. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS***

---

Las actividades realizadas para la elaboracion del presente proyecto se detallaran a continuacion.

1.- Montaje del robot aquipandolo con dos motores de CD y una llanta seguidora para poder mantener sobre el los circuitos necesarios para su funcionamiento, asi como tambien cuatro pilas AA de 1.5 V cada una para proporcionar los 6 volts necesarios para proporcionar la suficiente energia para los motores.

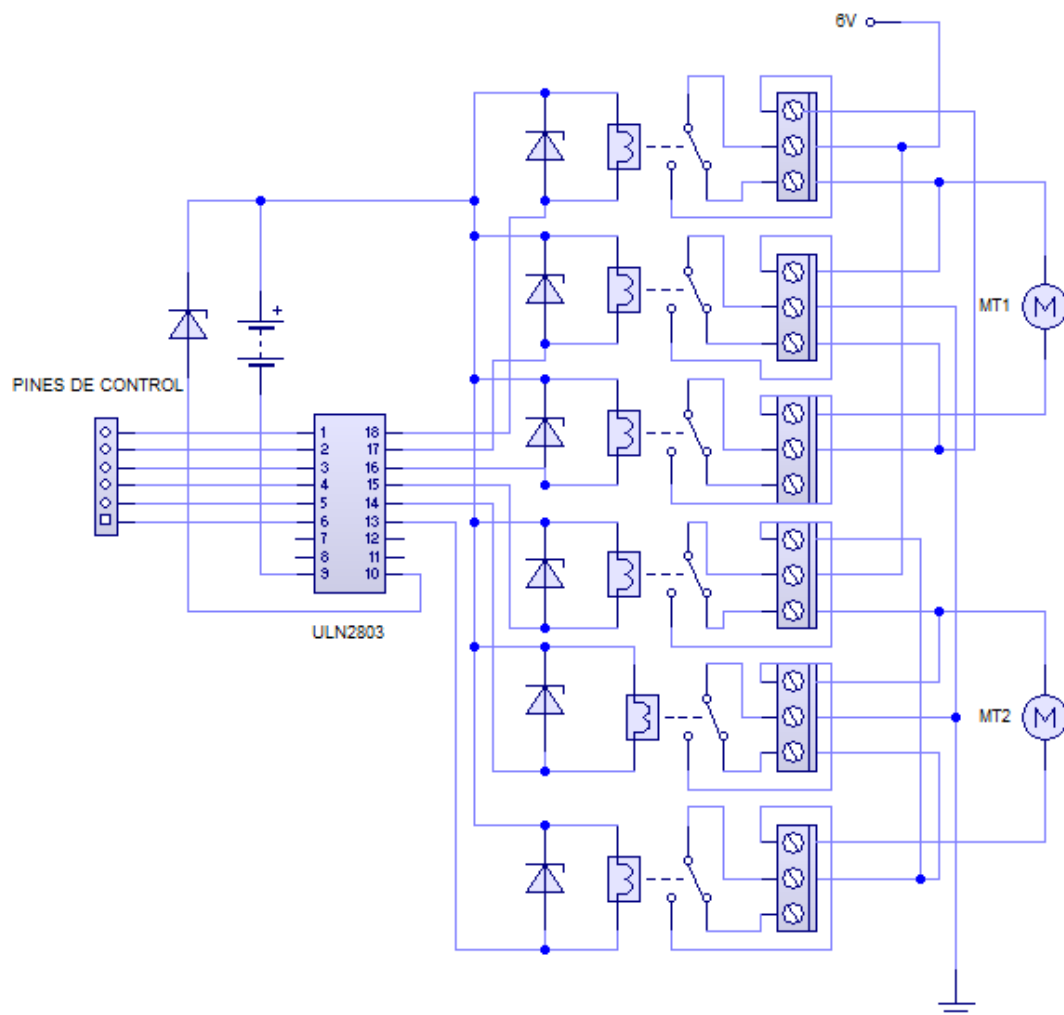


*Diagrama de montaje de motores para el robot*



2.- Instalacion de un arreglo de relevadores en placa para poder tener el control del sentido de cada uno de los motores de manera independiente y con ello lograr mayor libertad de movimiento hacia el robot, y para aislar electricamente la etapa de control con la de alimentacion de los motores que maneja un voltaje mas elevado.

A continuacion se presenta el diagrama de la placa de relevadores y las conexiones usadas:



Las salidas configuradas en el Arduino como digitales van conectadas a los pines de control, para poder seleccionar las bobinas de los relevadores que seran electrificadas para abrir o cerrar los interruptores que correspondan, el circuito integrado ULN2803 empleado en el diagrama es usado para poder suministrar la corriente necesaria a cada uno de los relevadores ya que la entrega por las salidas digitales del Arduino no es suficiente para mantener activas las bobinas de los relevadores.

Se manejan 2 salidas digitales del Arduino para poder controlar el sentido de giro de cada uno de los motores, y con esto poder lograr realizar una mayor cantidad de movimientos, a continuacion se presenta la tabla de verdad del funcionamiento de los motores indicando el sentido de giro que obtienen:

Motor	Direccion
Habilitacion	Sentido
1	0 Adelante
1	1 Atras
0	x detenido

3.- La tercera etapa del proyecto consistio en la instalacion de sensores ultrasonicos SRF02, que se usaron para poder sensar la distancia a la que se encuentran los objetos del robot para asi poder implementar un algoritmo que permitiera esquivar los obstaculos para poder encontrar una trayectoria libre de circulacion.



*Sensores SRF02 y su distribucion de pines.*

En esta etapa tambien se realizo la implementacion de un algoritmo de control en el Arduino para poder realizar las acciones antes mencionadas.

El programa cargado en el microcontrolador Arduino es el que se muestra a continuacion, fue desarrollado mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).



```
#include "Wire.h"
#include "SRF02.h"
SRF02 srf02[3] =
{
  SRF02(0x70, SRF02_CENTIMETERS),
  SRF02(0x71, SRF02_CENTIMETERS),
  SRF02(0x72, SRF02_CENTIMETERS)
};
unsigned long nextPrint = 0;
int distance =0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  SRF02::setInterval(250);
  pinMode(2, OUTPUT); //sentido motor 1  0=adelante 1=atras
  pinMode(3, OUTPUT); //habilitacion motor 1
  pinMode(4, OUTPUT); //sentido motor 2
  pinMode(5, OUTPUT); //habilitacion motor 2
}
void loop()
{
  while (true)
  {
    SRF02::update();
    if (millis() > nextPrint)
    { distance=(srf02[1].read());
      if (distance <=14 )
      { Serial.print("demasiado cerca");
        Serial.println();

        digitalWrite(3, HIGH); //camina hacia atras

        digitalWrite(5, HIGH);
        digitalWrite(2, HIGH);
        digitalWrite(4, HIGH);
        delay(1500);
      }
    }
  }
}
```

```

        digitalWrite(2, LOW); //giro izquierda
        digitalWrite(3, HIGH);
        digitalWrite(4, HIGH);
        digitalWrite(5, HIGH);
        delay(400);
    }
    else
    {
        digitalWrite(3, HIGH); //camina hacia adelante
        digitalWrite(5, HIGH);
        digitalWrite(2, LOW);
        digitalWrite(4, LOW);
    }
    nextPrint = millis () + 1000;
}

} // end while
}

```

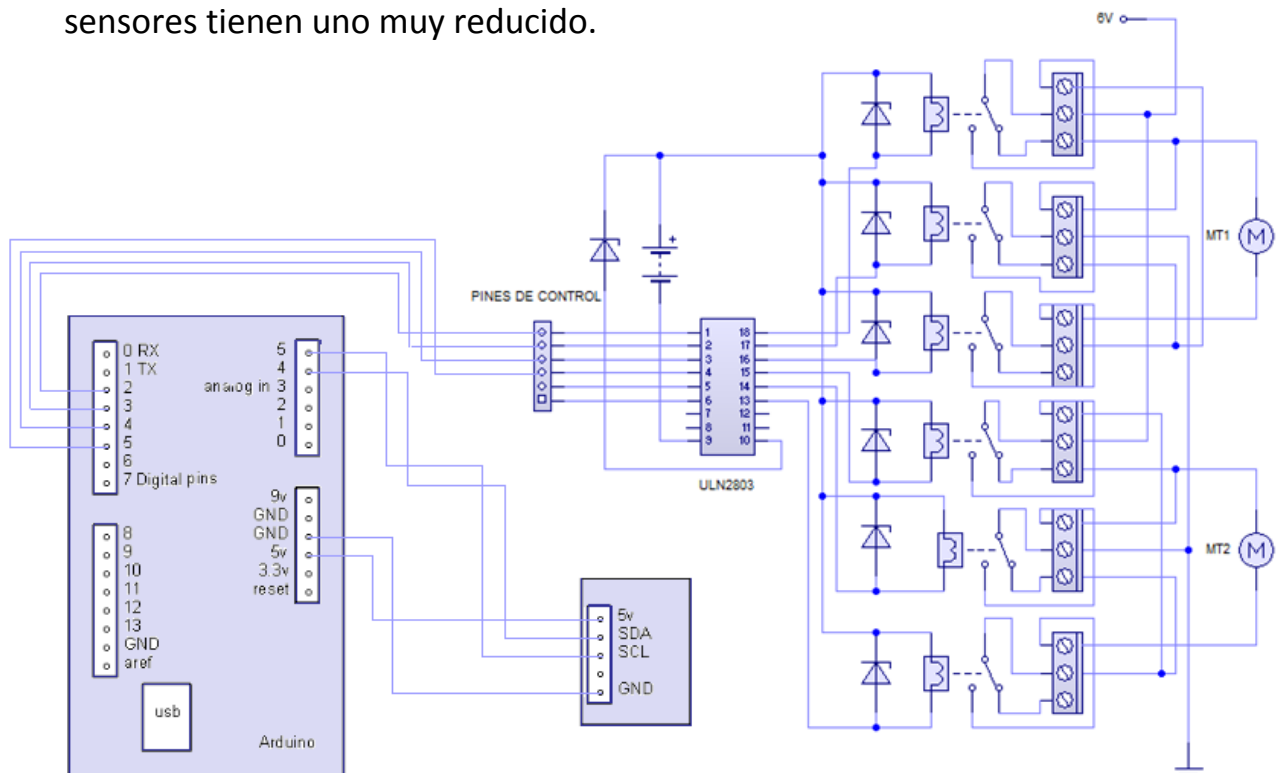
Wiring es un entorno de programación de código abierto el cual por ser de alto nivel facilita la implementación de estructuras complejas y creación de prototipos electrónicos. Es un proyecto abierto iniciado por Hernando Barragán (Universidad de los Andes | Arquitectura y Diseño). El diseño del wiring se inició en Institute Ivrea en Italia y es actualmente desarrollado en la Universidad de Los Andes en Colombia.

El Wiring se basa en el procesamiento, un proyecto abierto iniciado por Ben Fry (Broad Institute) y Casey Reas (UCLA Diseño | Media Arts). Procesamiento de evolución de las ideas exploradas en el Grupo de Estética y Computación del Media Lab del MIT.

Processing es un lenguaje de programación de código abierto y el medio ambiente para las personas que desean crear imágenes, animaciones e interacciones. Inicialmente desarrollado para servir como un cuaderno de bocetos de software y para enseñar los fundamentos de la programación dentro de un contexto visual, Processing también se ha convertido en una herramienta para generar el trabajo terminado profesional. En la actualidad, es usado en creación de prototipos y producción.

A continuación se presenta el diagrama de conexión de todos los elementos de hardware utilizados en la elaboración del proyecto, el arduino, los motores, el arreglo de relevadores y los sensores ultrasonicos.

Los sensores fueron instalados de forma paralela para así poder tener una mejor respuesta y abarcar una mayor área de reflexión ya que este tipo de sensores tienen uno muy reducido.



## *CONCLUSIONES*

---

En el actual trabajo se presento una metodologia para poder elaborar un robot el cual pueda esquivar objetos sin ninguna dificultad. Esto pudo ser posible gracias a la placa Arduino que con su lenguaje de programación de facil entendimiento, se pudo hacer un algoritmo de control que ayude al robot a tomar acciones rapidamente. Los sensores ultrasonicos utilizados han sido parte fundamental en este proyecto ya que al poder ser implementados junto con el Arduino el robot tiene la capacidad de poder cambiar de dirección al encontrarse con un obstaculo para poder despues seguir su trayectoria.

La placa Arduino tambien ha sido muy viable por su economica adquisición pudiendo asi hacer las tareas que se tenian planeado para el robot.

## **BIBLIOGRAFIA**

---

<http://materias.fi.uba.ar/6722/acciones%20basicas%20PID.pdf>

<http://www.scribd.com/doc/17702998/Tipos-de-Controladores>

<file:///C:/Documents%20and%20Settings/LORENA/Escritorio/lore/ModosDeControl.htm>

<file:///C:/Documents%20and%20Settings/LORENA/Escritorio/lore/CONTROLADORES.htm>

<http://prof.usb.ve/lamanna/cursos/Controladores-Industriales.pdf>

<http://www.arduino.cc/es/>

<http://arduino.cc/es/Tutorial/HomePage>

<http://wiring.org.co/>

<http://www.processing.org/>

<http://arduino.cc/es/Reference/HomePage>