

## Capítulo 2

---

### Sonares

# 1.Principio de funcionamiento

Los sonares son sensores de proximidad que transmiten cíclicamente un tren de pulsos ultrasónicos cuya frecuencia depende del tipo de sonar (de 80KHz a 400KHz) y de una duración de 1 a 2 milisegundos por pulso. Después de ser aplicado el tren de ondas al transductor ultrasónico, sigue un período durante el cual ningún eco puede ser detectado debido a que el transductor tiene que conmutar de transmisor a receptor. Este tiempo provoca que haya una zona ciega dentro de la cual ningún objeto podrá ser detectado debido a que el eco creado por ese objeto llega al transductor cuando este está conmutando de transmisor a receptor. Tras ese tiempo, el transductor actúa ya como receptor y los ecos detectados (en parte muy débiles) son introducidos en un amplificador de recepción para compensar los efectos de atenuación del sonido en el aire. La salida del amplificador de recepción, que contiene ya el eco amplificado, se introduce en el circuito de entrada.

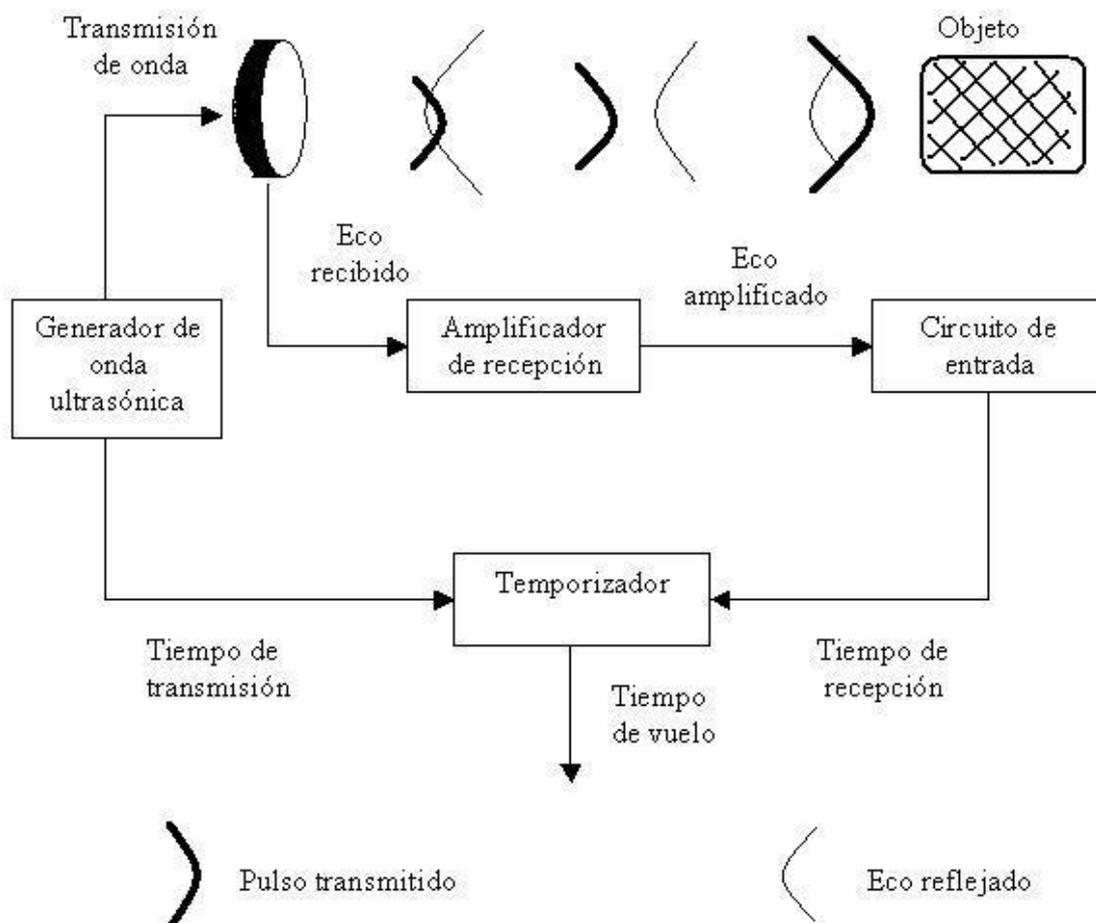


Figura 2.1: Esquema de funcionamiento de los sonares

La medida del tiempo de vuelo se obtiene tomando la diferencia de tiempo desde el momento en que el pulso fue transmitido hasta el primer momento en que el circuito de entrada recibe el eco amplificado. Este cálculo del tiempo de vuelo, en los sonares analógicos, se utiliza para calcular la distancia mediante la aplicación de un apropiado factor de calibración.

En los sonares digitales, una vez que entra el eco recibido en el circuito de entrada, se proporciona una señal a un valor alto de tensión que indica detección.

Por otra parte, para ambos tipos de sonares, el tiempo de vuelo se utiliza para decidir cuando enviar un nuevo tren de ondas. En cierto modo puede decirse que el sonar tiene que esperar un tiempo máximo para enviar al transductor un nuevo tren de ondas. Este tiempo se corresponde con el tiempo que tardaría la onda ultrasónica en llegar a la distancia máxima de detección y volver al transductor. Sin embargo en el caso de que se produzca detección, no es necesario esperar ningún tiempo máximo, procediéndose a continuación el disparo del nuevo tren de ondas.

## 1.1. Dificultades en el empleo de sonares

---

Los sonares también presentan algunas limitaciones que provocan que se obtengan datos erróneos, siendo las principales causas:

1. **Atenuación del medio:** que depende de la frecuencia, temperatura y humedad relativa y puede ser significativa.
2. **Presencia de ruido debido a otras fuentes de emisión:** este es el problema que ocurría cuando se disparaban todos los sonares a la vez y que se resolverá con las modificaciones realizadas en el código para la lectura de los valores de los sonares (ver Capítulo 3).
3. **Pobre resolución lateral.**
4. **Reflexión difusa y reflexión especular:** reflexión difusa debida a la textura de la superficie y la reflexión especular de las superficies. Estos efectos dependen del material, la forma y geometría de los objetos. En general las medidas no son fiables por encima de un determinado valor de ángulo con la perpendicular de la superficie, que suele ser de 15°.
5. **Múltiples retornos de diferentes objetos.**

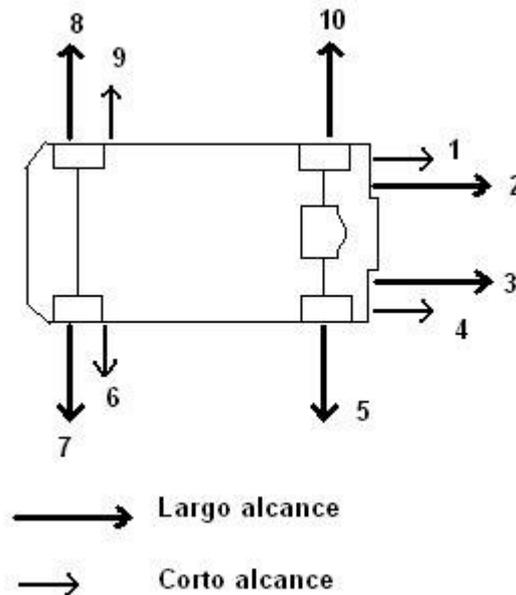
## 2.Sonares utilizados en ROMEO-4R

Los sonares que están instalados en ROMEO-4R son los BERO SONAR de la marca Siemens de la serie compacta III, debido a que poseen una construcción compacta y robusta y además no necesitan de mantenimiento alguno. Todos los sonares instalados en ROMEO-4R (10 en total) son analógicos y los hay de 2 tipos, de alcance largo (Figura 2.3 y Figura 2.4) y alcance corto (Figura 2.5 y Figura 2.6).

<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Modelo</i>	<i>Zona de detección</i>
<b>Analógico corto</b>	4	3RG6125-3BF00	40 a 300cm
<b>Analógico largo</b>	6	3RG6124-3BF00	60 a 600cm

*Tabla 2.1: Tipos, cantidades, modelos y rango de detección para los sonares usados*

En ROMEO-4R se encuentran instalados 4 sonares en la parte delantera (2 de corto alcance y 2 de largo alcance) y 3 en cada lado (2 de largo alcance y 1 de corto alcance), como se puede observar en la siguiente figura:



*Figura 2.2: Ubicación de los sonares en ROMEO-4R*

Además en la Figura 2.2 aparece la numeración de los sonares que se va a utilizar en todo el proyecto.



*Figura 2.3: Sonar analógico de largo alcance I*



*Figura 2.4: Sonar analógico de largo alcance II*



*Figura 2.5: Sonar analógico de corto alcance I*



*Figura 2.6: Sonar analógico de corto alcance II*

## 2.1.Descripción de los sonares

El sonar BERO es un detector de proximidad, sin contacto, que mide distancias por el método de retardo de eco ya comentado anteriormente. Estos sonares detectan los objetos que entren desde cualquier dirección en su cono de radiación. Las características más importantes de estos sonares se pueden observar en la siguiente tabla.

	<i>Frecuencia de conmutación</i>	<i>Cargabilidad</i>	<i>Frecuencia ultrasónica</i>	<i>Dimensiones</i>
<b>Analógico corto alcance</b>	2Hz	300mA	120KHz	M30x131mm
<b>Analógico largo alcance</b>	1Hz	300mA	80KHz	M30x150mm

Tabla 2.2: Características de los sonares BERO utilizados en ROMEO-4R

Por otra parte las características comunes de estos sonares (tanto para los de largo como los de corto alcance) son:

1. **Alimentación:** la tensión a la que se alimentan es de 24V, sin embargo toleran alimentaciones en el rango de 20 a 30V incluyendo un rizado del 10%.
2. **Salida:** la salida es analógica en intensidad que varía entre 4 y 20mA, lo que permite detectar cuando un sonar no funciona.
3. **Grado de protección:** este es IP 65.
4. **Temperatura ambiente admisible en servicio:** los sonares pueden funcionar sin problemas en el rango de -25 a +70°C, lo cual es un margen más que suficiente.
5. **Ángulo del cono sonoro:** de unos 5° aproximadamente.
6. **Compensación de temperatura:** se dispone de una compensación automática de temperatura mediante una sonda semiconductor externa, la cual mide la temperatura ambiente y la tiene en cuenta en la valoración de la distancia. Gracias a esta compensación se limitan las fuertes influencias de temperatura en el tiempo de emisión y recepción del ultrasonido y por lo tanto en la distancia.

Conviene remarcar que todos los sonares tienen los cabezales orientables manualmente lo cual permite una mayor flexibilidad. El montaje de los sonares en el vehículo se realiza mediante unas roscas de fijación (M30) con las que se aprieta una lámina metálica como se observa en Figura 2.7.



*Figura 2.7: Sonar montado en ROMEO-4R*

### **2.1.1. Conexión**

La asignación de pines para los sonares instalados en ROMEO-4R se muestra en la siguiente tabla.

<i>Pin N°</i>	<i>Función</i>	
<b>1</b>	<b>L+</b>	Alimentación (24V)
<b>2</b>	<b>XI</b>	Sincronización de los sonares
<b>3</b>	<b>L-</b>	Potencial de referencia
<b>4</b>	<b>S</b>	Salida de digital
<b>5</b>	<b>I<sub>A</sub>/U<sub>A</sub></b>	Salida analógica (proporcional a la distancia)

*Tabla 2.3: Asignación de pines, funciones en la conexión de sonares analógicos*

Para todos los tipos, las conexiones están protegidas contra la permutación de polos y son resistentes a los cortocircuitos y a las sobrecargas. Existe, además, una protección contra rotura de los conductores (L-).

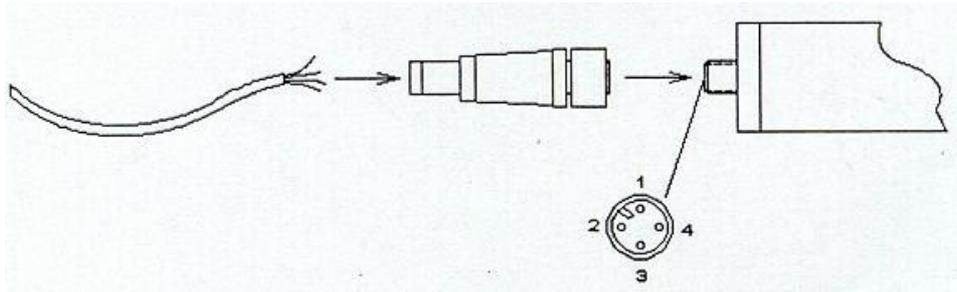


Figura 2.8: Conector del sonar

La relación de pines con los 2 tipos de conectores que se utilizan en los sonares, se muestra en la Figura 2.19.

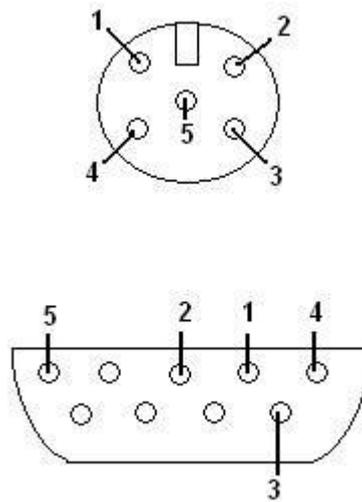


Figura 2.9: Relación de pines entre los conectores de los sonares

### **2.1.2. Zona de detección**

Los objetos son detectados fiablemente en un cono de  $5^\circ$  de ángulo de abertura total, además el objeto se tiene que encontrar en la llamada zona de conexión (Figura 2.10). Esta zona a su vez tendrá que estar contenida en la zona de detección, que es la zona dentro de la cual el sonar puede detectar objetos y que tiene un rango de distancias que está limitado inferiormente por la zona ciega debido a la conmutación del transductor de transmisor a receptor y superiormente sobre todo por la atenuación del eco de la onda ultrasónica.

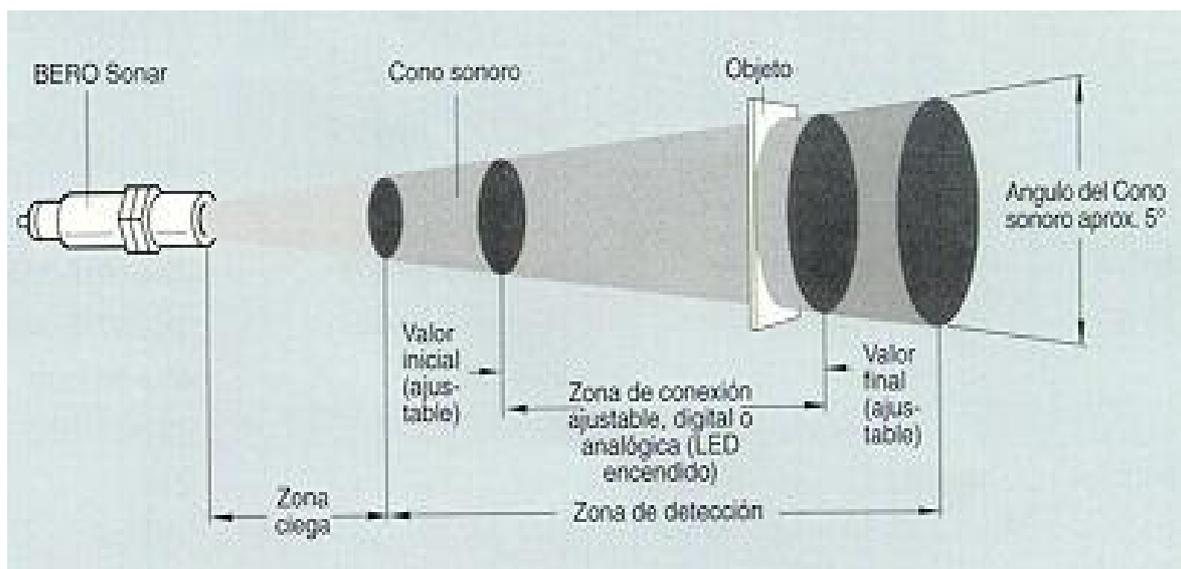


Figura 2.10: Zonas de funcionamiento de los sonares BERO

Los límites de la zona de conexión se pueden configurar aunque siempre que se encuentren dentro de la zona de detección. Esta configuración puede ser realizada manualmente o mediante un software especial para la configuración de los sonares llamado SONPROG suministrado junto con una interfaz de comunicación por Siemens.

La configuración manual se realiza por medio de unos potenciómetros situados en el propio sonar (Figura 2.11). En el caso de que se ajuste un valor inicial superior al final, el led lucirá intermitentemente no siendo posible un correcto funcionamiento del sonar. En el caso en el que haya un objeto en la zona de conexión entonces el led se encenderá y en el caso en el que no haya objetos en la zona de conexión este se apagará (este funcionamiento es para configuración NA, Normalmente Abierto, y puede ser el inverso para configuración NC, Normalmente Cerrado).



Figura 2.11: Detalle de los potenciómetros y el led de los sonares

Sin embargo se aconseja la configuración de la zona de conexión por medio del software SONPROG que es mucho más eficiente y seguro y además permite la configuración de otros parámetros. En el apartado 2.2 se explicará como configurar por medio de este software la zona de conexión y otros parámetros de interés.

Por último comentar que todo lo dicho en este apartado sirve tanto para los sonares de corto como los de largo alcance, lo único que cambia, como es lógico, es el rango de distancias que limitan la zona de detección.

### **2.1.3.Sincronización de los sonares**

Esta opción es muy útil cuando hay varios sonares funcionando en paralelo y están a una distancia en la que hay riesgo de interferencia mutua. Para ello es necesario conectar las entradas de sincronización (XI) de los sonares correspondientes y configurarlos por medio de SONPROG indicando el número de sonares sincronizados y la posición de cada uno mediante un direccionamiento, donde iguales direccionamientos equivalen a funcionamientos al mismo tiempo. Tras esta configuración, cuando los sonares se activen, ellos automáticamente funcionarán de forma multiplexada, es decir, emitirán el tren de pulsos de ultrasonidos de forma sucesiva y por lo tanto ya no se producirá interferencia mutua.

Sin embargo esta opción tiene el inconveniente de que habría que variar el conexionado de las entradas de sincronización (XI) y la configuración de los sonares mediante SONPROG para distintas estrategias de sincronización y esta variación no se puede hacer de una forma dinámica, por ejemplo mientras el vehículo esté en funcionamiento, lo cual sería muy interesante.

Por ello la sincronización se realizará por software, donde los sonares se dividirán en grupos. Cada uno de estos grupos será activado por separado por lo que se deberán poner los sonares que tienen riesgo de interferencia mutua en grupos distintos ya que en ese caso cuando uno esté activado el otro estará desactivado. Este tipo de sincronización que si permite variaciones en tiempo real y con total flexibilidad se explicará con mayor detalle en el Capítulo3.

### **2.1.4.Comportamiento en el arranque**

Los sonares, desde que son alimentados, necesitan de un tiempo determinado para disponer de la respuesta (denominado retardo de disponibilidad). Este tiempo es muy importante conocerlo debido a que nos va a limitar la frecuencia de activación de los distintos grupos en el sistema de sincronización por software.

Este tiempo depende de las distancias de detección del sonar, a mayores distancias de detección mayor será el tiempo máximo de espera del eco y por lo tanto mayor será el retardo de

disponibilidad. Esto implicaría tener en cuenta 2 tiempos de retardo de disponibilidad, dependiendo de que si se tratara de un sonar de corto o largo alcance, sin embargo como los grupos de sincronización pueden estar formados por sonares de ambos tipos, sólo se tendrá en cuenta el peor de ambos que es el retardo de disponibilidad para los sonares de largo alcance que tiene un valor de 380ms.

## 2.2. Configuración de los sonares mediante SONPROG

El fabricante de los sonares, Siemens, proporciona un software (SONPROG, Figura 2.12) para la programación de los sonares BERO. Además proporciona la interfaz (3RX3000) que se conecta por un lado al sonar a configurar y por el otro a un puerto RS-232 del ordenador (ver Figura 2.13). Mediante este software se pueden comprobar y variar todos los parámetros de estos sonares.

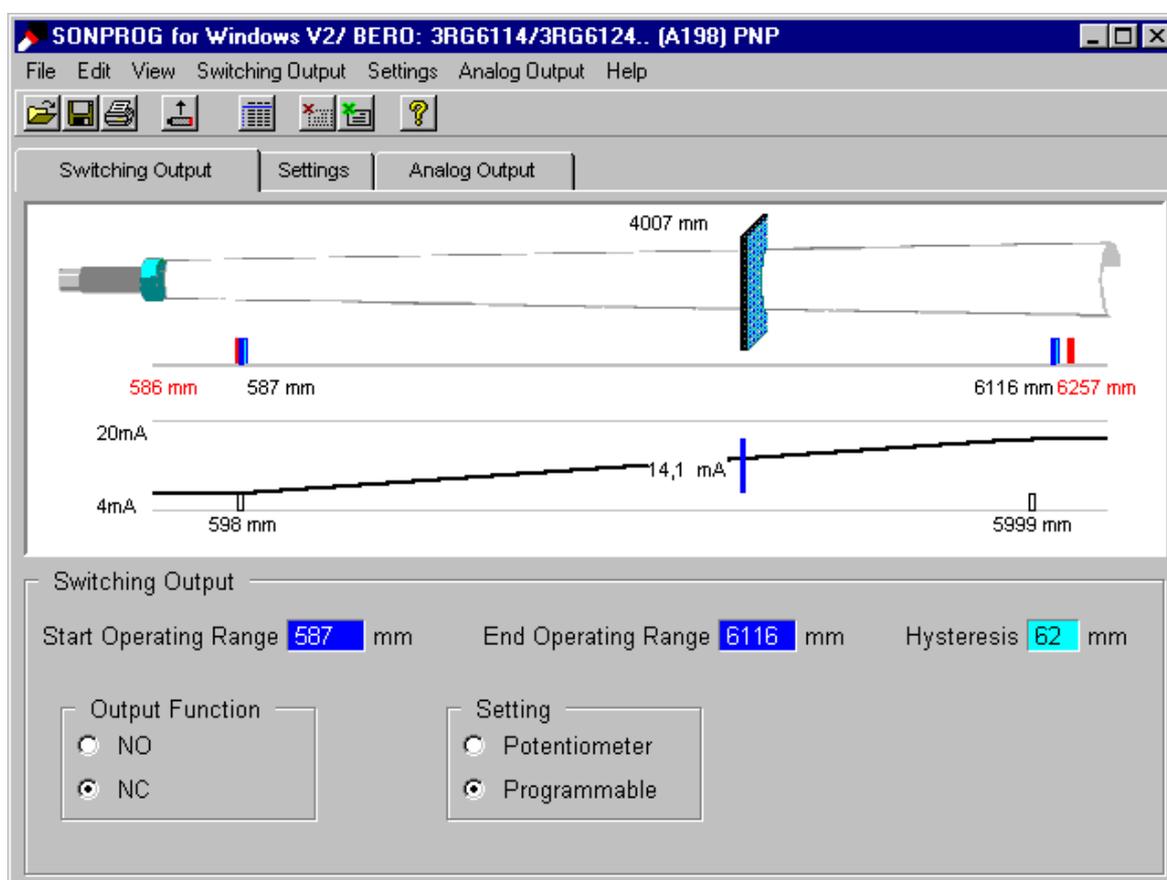


Figura 2.12: Interfaz del programa SONPROG



Figura 2.13: Conexión del sonar al ordenador por medio de la interfaz 3RX3000

Los parámetros más importantes que pueden ajustarse son:

1. **Compensación de temperatura** (*Temperature compensation*): debido a que los sonares se van a utilizar en un robot móvil por entornos abiertos se debe activar la compensación de temperatura, ya que no se conoce a priori la temperatura que se va a tener y si esta va a estar cercana a los 20° que es la temperatura de referencia a la que se considera la velocidad de los ultrasonidos y a la que no es necesario hacer correcciones.
2. **Principio y fin de la zona de conexión** (*Start & End operation range*): como se comentó anteriormente la zona de conexión tiene que quedar dentro de los límites de la zona de detección que es diferente para los sonares de largo alcance (60-600cm) y los de corto alcance (40-300cm). Debido a que nos interesa la detección de los objetos en la mayor zona posible de espacio, entonces se han programado los sonares para que la zona de conexión sea máxima, es decir, coincida con la de detección.
3. **Histéresis** (*Hysteresis*): la misión de la histéresis es la de separar la zona de conexión con la zona en la que no se detecta el objeto de tal forma que cuando un objeto se encuentre en las proximidades de algunos de los límites de la zona de conexión no haya un cambio constante de detección y no detección del objeto sino que la medida permanezca constante. En nuestro caso este problema no es preocupante y lo que si nos interesa es detectar lo

antes posible el objeto por lo que configuraremos el sonar al valor mínimo de histéresis permitido.

4. **Zona ciega** (*Blind zone*): la zona ciega está asociada al tiempo que necesita el transductor del sonar de pasar de transmisor a receptor, por lo tanto nunca podrá ser menor al mínimo correspondiente a la zona de detección.
5. **Amortiguación** (*Damping*): la amortiguación reduce la sensibilidad del amplificador de recepción, con ello se consigue suprimir las pequeñas señales de eco debidas a objetos perturbadores que se presenten en la periferia del cono sonoro. Sin embargo al aumentar la amortiguación disminuye la sensibilidad del sonar, no siempre alcanzándose la zona de conexión deseada. Por lo tanto se debe configurar los sonares a la amortiguación mínima que es 0 (siendo la máxima 8).
6. **Función de salida analógica** (*Characteristic, Analog start & end*): la curva de salida analógica se puede configurar creciente o decreciente (*Characteristic*), es decir, que el mínimo valor de salida analógica coincida con la distancia mínima o con la distancia máxima, de la zona de conexión, respectivamente. Se debe escoger creciente (*Rising*) ya que todo el software implementado considera que los sonares están configurados de esta forma. Por otra parte se puede configurar el rango de distancias (*Analog start & end*) que corresponden con el valor mínimo y máximo de salida analógica, que se debe configurar con el mismo rango adoptado para la zona de conexión, es decir, el máximo posible que coincide con la zona de detección. Por último recordar que los sonares utilizados en ROMEO-4R tienen una salida en intensidad que varía de 4 a 20mA.
7. **Estado de salida de los contactos** (*Output state*): las salidas analógicas pueden programarse para que sus valores queden almacenados o no, es decir, se mantenga o no la última medida realizada aunque se deje de alimentar el sonar. Por lo tanto se debe configurar a valores no almacenados por ser la opción que interesa.
8. **Frecuencia de conexión** (*Switching Frequency*): se puede ajustar a normal o rápida. Con el ajuste rápido se anula gran parte de la valoración interna de la señal, pudiendo aparecer errores con cierta facilidad. Por este motivo se debe configurar con una frecuencia de conexión normal.
9. **Función de salida** (*Output function*): se puede configurar como NC (normalmente cerrado) o NA (normalmente abierto). Con esto lo que indicamos es que si queremos que el led del sonar se encienda si el objeto se encuentra en la zona de conexión y se apague cuando el objeto salga de esta (NA) o viceversa. Para los sonares analógicos esta opción

tiene poca importancia aunque para los digitales indicaría si queremos utilizar una lógica positiva o negativa.

Para más información sobre los sonares y su programación en SONPROG consultar el proyecto fin de carrera “Sistemas de navegación reactivos basados en sonares para el robot móvil ROMEO” realizado por Carlos Costa Carretero.

## 2.3. Conexión de los sonares al controlador

Debido a que los sonares se utilizan en los 2 sistemas de control existentes en ROMEO-4R (romeo4b y controlador empotrado), se tuvo que diseñar una interfaz para cada uno de ellos ya que el rango de las señales de entrada para los conversores A/D de ambos controladores es distinto. En ambos se debe pasar la señal de intensidad (4-20mA) proveniente de los sonares a una señal de voltaje ya que los conversores A/D instalados en ambos controladores trabajan con tensiones. Sin embargo el rango de entrada es distinto en ambos, siendo de  $\pm 10V$  para el controlador basado en PC (romeo4b) y de 0 a 3.3V para el controlador empotrado basado en DSP.

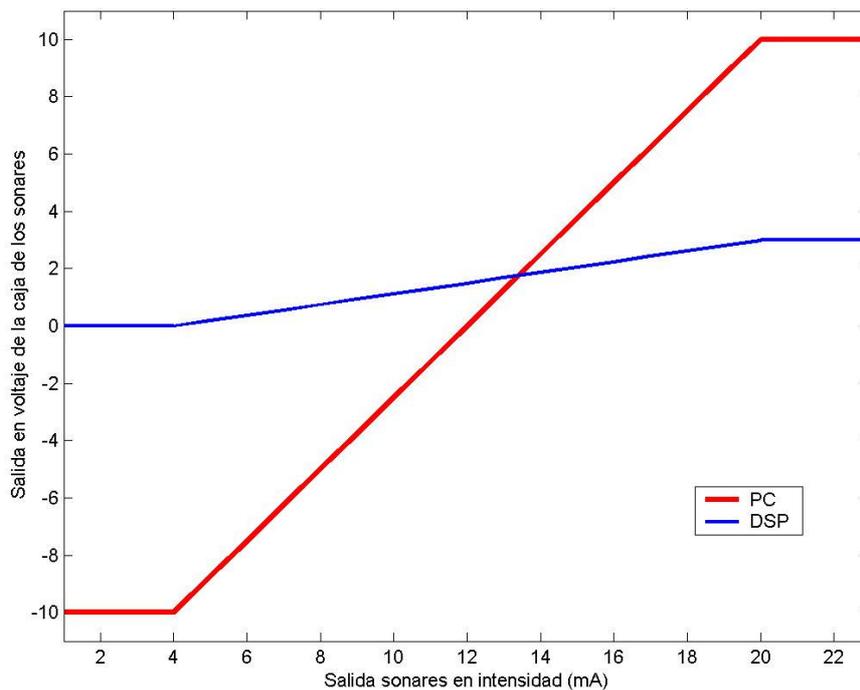


Figura 2.14: Salidas en voltaje del convertidor I/V de la caja de los sonares

Estas interfaces se han implementado en la llamada “caja de los sonares”, donde además se implementará la circuitería de conversión I/V y por medio de unos relés de control se seleccionará el

funcionamiento para un controlador u otro. Se podrán accionar estos relés mediante los selectores ubicados en la caja de los sonares.

### 2.3.1.Caja de los sonares

La caja de los sonares está formada por un módulo de alimentación y 3 módulos idénticos para realizar la conversión de las señales, cada uno de estos módulos está preparado para convertir las señales de 4 sonares por lo que la caja de los sonares está preparada para dar soporte a 12 sonares habiendo sólo 10 sonares instalados. Esto se debe a que actualmente existen 2 sonares de corto alcance que aún no están instalados. Si en el futuro se quieren instalar para alguna aplicación que resulte interesante, todo el hardware y software está preparado para funcionar con 12 sonares. Los sonares se conectan a la caja de los sonares mediante conectores DB-9 (Figura 2.16) que se encuentran numerados del 1 al 12, coincidiendo esta numeración con la indicada anteriormente (Figura 2.2).



Figura 2.16: Caja de los sonares

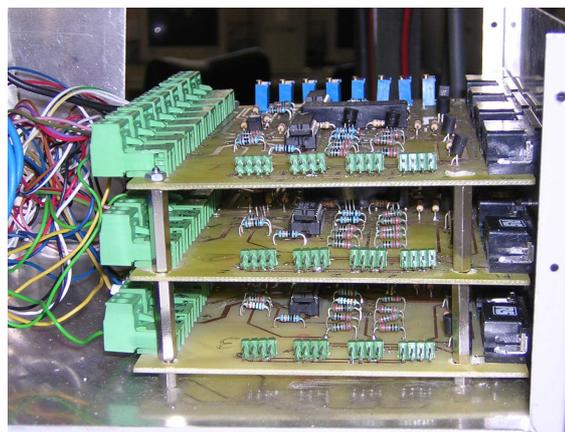


Figura 2.15: Módulos de la caja de los sonares

Cada uno de los 3 módulos está compuesto por (ver ):

1. **Señal de disparo para 4 sonares:** igualmente se ha diseñado una electrónica para la adaptación de niveles de activación de los sonares, debido a que las salidas digitales de ambos controladores no son suficiente para la activación de estos ya que se necesitan de 20V a 30V. La implementación electrónica se puede observar en (Figura 2.17), donde básicamente a partir de la señal digital proveniente del controlador seleccionado se saturan (señal digital del controlador a 1 lógico) o se cortan los transistores obteniendo a la salida 24V o 0V respectivamente, siendo estos niveles de tensión ya suficientes para activar los sonares.

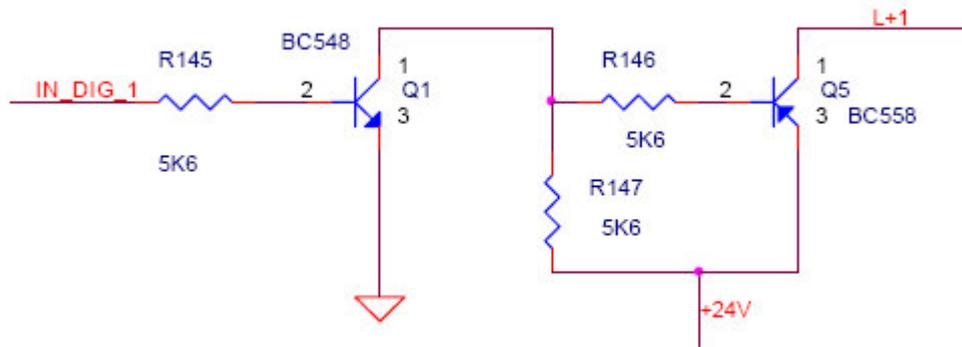


Figura 2.17: Interfaz de disparo para un sonar

2. **Convertidores I/V para 4 sonares:** esta interfaz no sólo convierte la señal de intensidad de los sonares a tensión, sino que además la señal de tensión debe estar dentro de un rango que depende del controlador que se vaya a utilizar. Para ello tanto la ganancia como el offset de las 2 curvas de conversión (Figura 2.14) se pueden seleccionar mediante un selector externo.

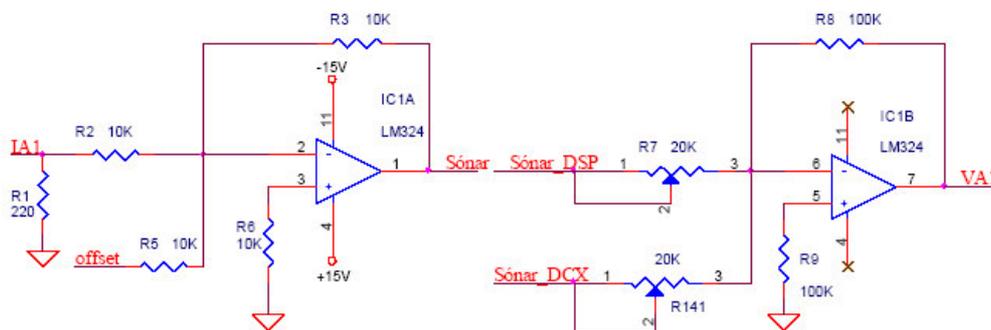


Figura 2.18: Implementación electrónica del convertidor I/V para un sonar

Por otra parte en la implementación electrónica (Figura 2.18) se observa que está formada por 2 operacionales donde en el primer operacional se transforma la intensidad en tensión y se le suma el offset y en el segundo operacional se introduce la ganancia adecuada. Hay que destacar que tanto la tensión de offset como las ganancias se pueden ajustar mediante potenciómetros, sin embargo la señal de offset es común para todos los sonares aunque diferente para cada uno de los 2 controladores, mientras que las ganancias de los sonares se pueden ajustar individualmente para cada uno de los sonares y controladores. El que la señal de offset sea común para todos los sonares provocará que no siempre se podrá aprovechar todo el rango debido a las diferencias entre los sonares como se explicará en el apartado 3.1.1.

3. **Jumpers de configuración para la sincronización de los sonares:** mediante estos jumpers se pueden sincronizar los sonares según 4 posibilidades que corresponden a cada lado del vehículo. Sin embargo no se utilizará este método para la sincronización de los sonares y se hará vía software debido a que de esta forma se consigue una mayor flexibilidad y la posibilidad de cambiar la sincronización mientras el vehículo está en movimiento lo que no sería posible mediante los jumpers de sincronización. Por lo tanto no se debe conectar ningún jumper para que los sonares se puedan disparar independientemente vía software.

La implementación del método de sincronización por software se explicará con detalle en el Capítulo 3.

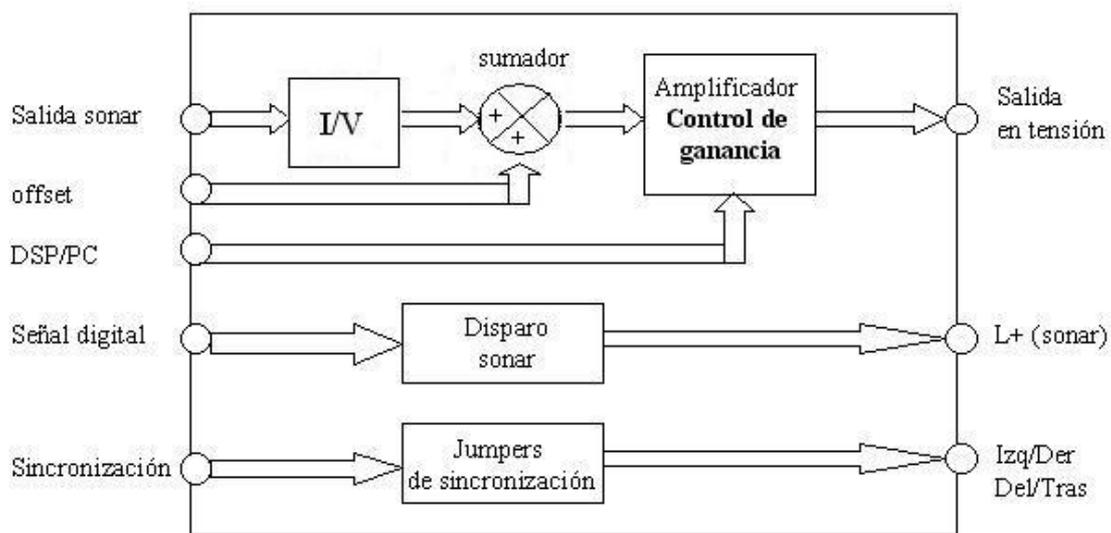


Figura 2.19: Esquema de las partes de un módulo de la caja de los sonares

Además en la caja de los sonares hay un selector externo (Figura 2.20) para indicar si se va a utilizar los sonares con el controlador basado en PC o con el controlador empotrado. Internamente este conector provocará que las señales directoras de varios relés electrónicos se alimenten a nivel alto o bajo, lo cual a su vez, provocará que la conversión I/V se realice para el rango del PC o del DSP. Además tiene otro selector situado al lado para el apagado y encendido de la caja de los sonares, este selector tiene 3 posiciones: hacia la izquierda enciende la caja de los sonares y en el centro o a la derecha apaga la caja de los sonares cortando la alimentación.



Figura 2.20: Interruptores externos de la caja de los sonares

Finalmente el módulo de alimentación posee un convertidor cc/cc de 24V a  $\pm 15V$  siendo esta alimentación la utilizada para alimentar a los componentes electrónicos de los módulos. También en este módulo se encuentra la señal de offset para ambos controladores y los potenciómetros que se utilizan para ajustar sus valores.

Para más información acerca de la caja de los sonares consultar el proyecto fin de carrera “Implementación del controlador basado en DSP del vehículo autónomo ROMEO-4R” realizado por José Víctor Acevedo Sánchez.

### **2.3.2. Conexión de la caja de los sonares con el controlador**

Tanto las salidas (señales en voltaje de cada uno de los sonares) como las entradas (señales para el disparo de los sonares) de la caja de los sonares se agrupan en 2 conectores, estos conectores son:

1. **Conector sonar o conector C14:** en este conector se agrupan la gran mayoría de las señales tanto de disparo como las que llevan la medida de los sonares en voltaje.
2. **Conector C10:** sólo se encuentran las señales en voltaje de los sonares 11 y 12.

Es interesante destacar que las señales tanto de entrada como de salida de la caja de los sonares no se conectan directamente al conector sino que se utiliza una regleta para ello. La conexión entre la regleta y los conectores se muestra en la siguiente tabla.

<i>Funcionalidad</i>	<i>Color en regleta</i>	<i>Número de regleta</i>	<i>Número de cable en regleta</i>	<i>Conector</i>	<i>Número en el conector</i>
Disparo-sonar 1	Blanco-Verde	3	27	C14	11
Disparo-sonar 2	Blanco-Amarillo	3	29	C14	12
Disparo-sonar 3	Marrón-Azul	3	31	C14	13
Disparo-sonar 4	Blanco-Azul	3	33	C14	14
Disparo-sonar 5	Rosa-Marrón	3	37	C14	15
Disparo-sonar 6	Blanco-Rojo	3	39	C14	16
Disparo-sonar 7	Blanco-Rosa	3	41	C14	17
Disparo-sonar 8	Amarillo-Marrón	3	43	C14	18
Disparo-sonar 9	Gris-Marrón	4	21	C14	19
Disparo-sonar 10	Rojo-Azul	4	22	C14	20
Disparo-sonar 11	Gris-Blanco	4	23	C14	21
Disparo-sonar 12	Blanco-Negro	4	24	C14	22
Salida-sonar 1	Gris-Rosa	3	3	C14	1
Salida-sonar 2	Marrón-Verde	3	5	C14	2
Salida-sonar 3	Violeta	3	7	C14	3
Salida-sonar 4	Rojo	3	9	C14	4
Salida-sonar 5	Verde	3	11	C14	5
Salida-sonar 6	Marrón-Rojo	3	13	C14	6
Salida-sonar 7	Marrón	3	15	C14	7
Salida-sonar 8	Rosa	3	2	C14	8
Salida-sonar 9	Gris	3	4	C14	9
Salida-sonar 10	Amarillo	3	6	C14	10
Salida-sonar 11	Negro (desconectado)	3	8	C10	6
Salida-sonar 12	Azul (desconectado)	3	10	C10	7

*Tabla 2.4: Conexión regleta con conectores que contienen las señales de los sonares*

Después los conectores se conectan al controlador, que se vaya a utilizar, en su sitio correspondiente y seleccionando convenientemente la conversión I/V en la caja de los sonares llegarán al controlador las señales de los sonares con el rango deseado.

### **2.3.2.1. Conexión al controlador basado en PC**

La conexión con el controlador basado en PC se realiza por medio de una tarjeta de entradas y salidas tanto digitales como analógicas. Esta tarjeta es la AX5411 de la marca AXIOM.

La tarjeta AX5411 está diseñada para permitir la adquisición de datos a alta velocidad. El convertidor A/D permite velocidades de hasta 60KHz y la transferencia de datos a memoria mediante DMA se realiza también a dicha velocidad. Además la tarjeta permite la configuración de varios parámetros como las ganancias y la escala (que se ha configurado a  $\pm 10V$ ).

Por otra parte la tarjeta posee 16 canales analógicos de entrada con conversores A/D de 12 bits y 2 canales analógicos de salida en forma de tensión, cada uno con su convertidor D/A de 12 bits. Estos canales de salida pueden configurarse de forma independiente en el rango de 0 a 5V o de 0 a 10V. También la tarjeta tiene 24 canales de entrada y otros 24 de salida digitales con compatibilidad TTL.

Por lo tanto las señales de disparo de los sonares se conectan a las salidas digitales de la tarjeta y las señales provenientes de los sonares (ya pasadas a voltaje) a las entradas analógicas de esta.

Por último comentar que los datos convertidos son leídos vía software por medio de unas funciones desarrolladas por Rafael Martín Agar Tirado (ver siguiente párrafo), de la misma forma se podrá activar las distintas salidas digitales o poner un valor deseado en las salidas analógicas.

Para más información sobre la tarjeta AX5411 y su integración en el sistema consultar el proyecto fin de carrera “Control automático de un vehículo autónomo bajo el sistema operativo GNU/Linux. Implementación de drivers y software de control” realizado por Rafael Martín Agar Tirado.

### **2.3.2.2. Conexión al controlador empotrado**

Como ya se comentó en los objetivos del presente proyecto, en la realización de este se ha llevado a cabo el montaje de todo el hardware del controlador empotrado relacionado con los sonares. Este había sido diseñado en el proyecto fin de carrera “Implementación del controlador basado en DSP del vehículo autónomo ROMEO-4R” realizado por José Víctor Acevedo Sánchez.

En primer lugar quisiera dejar constancia de la relación entre los conectores de los sonares y los colores de los cables (Tabla 2.5), debido a que el montaje de este conector se realizó durante este proyecto y no figura en ninguna documentación anterior. Además esta información puede ser muy útil si algún día se quiere modificar la parte relativa a los sonares del controlador empotrado.

<i>Funcionalidad</i>	<i>Tipo de conector</i>	<i>Número en el conector</i>	<i>Color</i>
Disparo-sonar 1	Conector-sonar	11	Blanco-Rojo
Disparo-sonar 2	Conector-sonar	12	Blanco-Negro
Disparo-sonar 3	Conector-sonar	13	Blanco
Disparo-sonar 4	Conector-sonar	14	Rosa
Disparo-sonar 5	Conector-sonar	15	Azul
Disparo-sonar 6	Conector-sonar	16	Gris-Blanco
Disparo-sonar 7	Conector-sonar	17	Marrón
Disparo-sonar 8	Conector-sonar	18	Verde
Disparo-sonar 9	Conector-sonar	19	Rojo
Disparo-sonar 10	Conector-sonar	20	Marrón-Rojo
Disparo-sonar 11	Conector-sonar	21	Gris
Disparo-sonar 12	Conector-sonar	22	Blanco-Azul
Salida-sonar 1	Conector-sonar	1	Amarillo
Salida-sonar 2	Conector-sonar	2	Marrón-Rosa
Salida-sonar 3	Conector-sonar	3	Marrón-Gris
Salida-sonar 4	Conector-sonar	4	Blanco-Amarillo
Salida-sonar 5	Conector-sonar	5	Negro
Salida-sonar 6	Conector-sonar	6	Marrón-Verde
Salida-sonar 7	Conector-sonar	7	Blanco-Verde
Salida-sonar 8	Conector-sonar	8	Rojo-Azul
Salida-sonar 9	Conector-sonar	9	Morado (Violeta)
Salida-sonar 10	Conector-sonar	10	Gris-Rosa
Salida-sonar 11	Conector C-10	6	Negro-Blanco
Salida-sonar 12	Conector C-10	7	Marrón-Verde

*Tabla 2.5: Equivalencia entre el número del conector de los sonares y los colores del cable*

A continuación los cables que contienen las señales en voltaje de los sonares se conectan al módulo III del DSP y los que llevan las señales de disparo de los sonares se conectan a las salidas digitales del DSP.

### **2.3.2.2.1. Conexión de las señales provenientes de los sonares**

El módulo III del DSP (Figura 2.21) es una placa que tiene las siguientes características:

1. Tiene la posibilidad de conectar 16 entradas analógicas que se unirán con el conversor A/D del DSP, de estas 16 cuatro de ellas se les puede ajustar el offset y la ganancia en la misma placa de forma individual mediante potenciómetros (la circuitería utilizada es muy

parecida a la que se utiliza en la caja de los sonares para ajustar la ganancia y el offset). Las otras 12 se conectan directamente al DSP sin llevar a cabo ningún tipo de ajuste.

2. Posibilidad de conectar 2 salidas analógicas en las que se le puede ajustar el offset y la ganancia de manera individual en la misma placa, también por medio de potenciómetros.
3. Jumpers de selección para seleccionar entre las 12 señales provenientes de los sonares o entradas analógicas alternativas pero sin poder ajustar ni el offset ni la ganancia. Estos jumpers actualmente seleccionan las señales de los sonares al ser las que se utilizan.

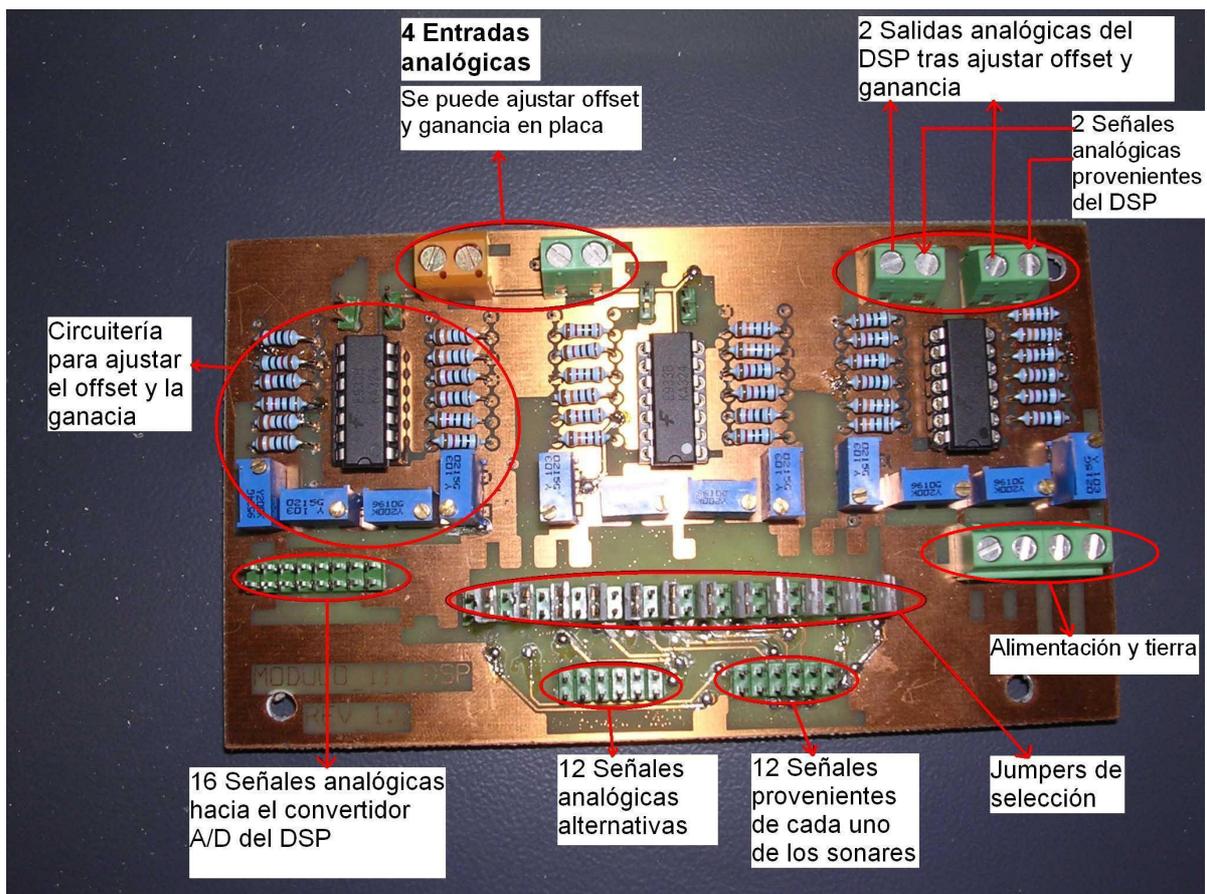


Figura 2.21: Módulo III del DSP

Actualmente a esta placa sólo se conectan las 12 señales provenientes de los sonares, aunque sólo 10 de ellas llevan señal ya que sólo hay instalados 10 sonares. Por lo tanto están sin utilizar las 4 entradas y las 2 salidas analógicas a las que se les puede ajustar el offset y la ganancia.

Por último las 16 señales analógicas se conectan al convertidor A/D del DSP cuyas principales características son:

1. 16 canales de conversión.
2. 10 bits de resolución.
3. Tiempo de conversión de 500ns.
4. Tiempo de adquisición programable (según impedancia de entrada).
5. Capacidad de conversión de uno, varios o todos los canales de forma consecutiva, pudiéndose también programar el orden.
6. Posibilidad de interrumpir a la CPU al finalizar cada secuencia de conversión.

#### **2.3.2.2.2. Conexión de las señales de activación de los sonares**

Por otra parte las señales de disparo de los sonares se conectan a las salidas digitales del DSP. Sin embargo debido a que sólo quedaban 4 señales digitales libres en el DSP, en este controlador no se va a poder activar cada sonar por separado. Esto provocará como se verá en el Capítulo 4 que no se tenga la misma libertad a la hora de programar el algoritmo de sincronización para el controlador empotrado.

Por lo tanto se han unido en 4 grupos de activación los 12 sonares (Tabla 2.6), aunque sólo 10 están instalados como se ha comentado anteriormente. La asignación se ha realizado a partir del criterio de minimizar la interferencia entre los sonares.

<i>Número del grupo de sonares</i>	<i>Sonares que forman parte del grupo</i>
1	1, 3, 6
2	2, 4, 9
3	7, 10, 11
4	5, 8, 12

*Tabla 2.6: Grupos de activación de sonares para el controlador empotrado*

Se recuerda que la numeración de los sonares corresponde a la que aparece en la Figura 2.2

### 3. Calibración de los sonares

La calibración de los sonares consiste en calcular la relación entre el valor obtenido en el controlador y la distancia a la que se encuentra el objeto (Ecuación 2.1). Esta relación es lineal y se va a ajustar a una recta.

$$Distancia (metros) = a \cdot ValorObtenidoSonar + b \quad (2.1)$$

Además es necesario realizar una calibración porque lo que se lee de cada uno de los sonares es una cantidad que varía entre 0 y 4095 en el PC (12 bits de resolución en el convertidor D/A) y entre 0 y 1023 en el DSP (10 bits de resolución en el convertidor D/A) y lo que se quiere es obtener la distancia del objeto en metros. Para realizar la calibración se van a tomar los valores obtenidos para diferentes distancias y, debido a que no se obtiene un valor fijo sino una variación con respecto a un valor medio, se va a repetir 3 veces. A continuación todos estos datos se ajustan a una recta por el método de los mínimos cuadrados y ya por software se transformarán los valores obtenidos por el controlador en distancias (metros).

Por último conviene indicar que el PC tiene una mayor resolución que el DSP en el convertidor D/A, esto provocará que en el DSP la variación de los valores con respecto al valor medio sea mayor y como consecuencia habrá un error mayor a la hora de estimar la posición del objeto mediante los sonares. Sin embargo con ambas resoluciones se obtienen resultados más que aptos para las aplicaciones en las que se van a utilizar los sonares.

#### 3.1. Calibración de los sonares para el PC

1. **Sonar 1:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 1 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	0	5	10
1	805	810	825
2	2520	2530	2548
2,9	4045	4055	4065

Tabla 2.7: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 1

Tras realizar el ajuste de estos cálculos a una recta por mínimos cuadrados se obtiene:

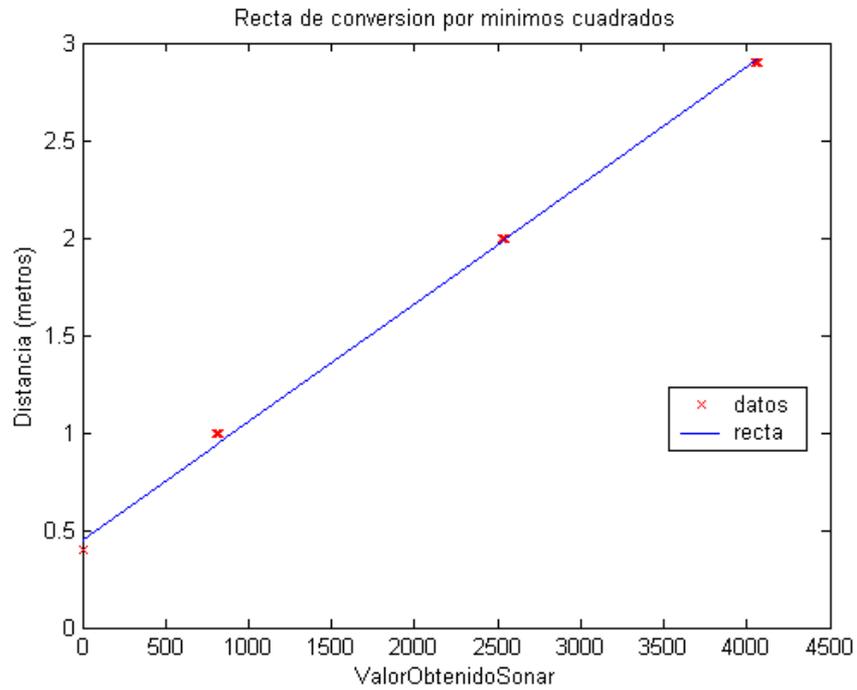


Figura 2.22: Recta de conversión para el sonar 1

Los valores que identifican a la recta de conversión son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	0,00060928	0,44904194

Tabla 2.8: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 1

2. **Sonar 2:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 2 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	30	35	40
2	1020	1030	1050
4	2535	2555	2575
6	4040	4060	4080

Tabla 2.9: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 2

Tras realizar el ajuste de estos cálculos a una recta por mínimos cuadrados se obtiene:

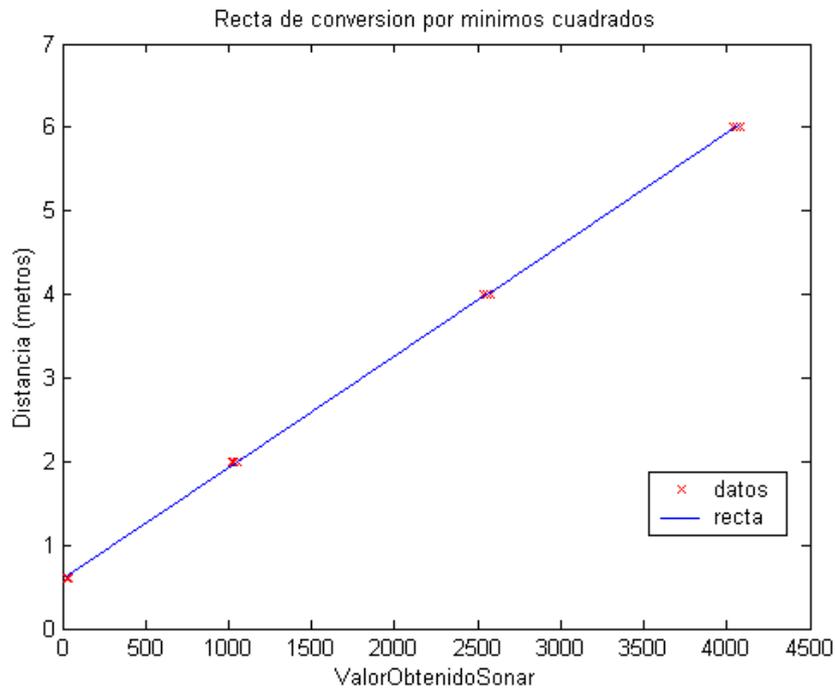


Figura 2.23: Recta de conversión para el sonar 2

Los valores que identifican a la recta de conversión son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2	0,00133691	0.57979492

Tabla 2.10: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 2

3. **Sonar 3:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 3 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	0	15	26
2	983	990	1000
4	2488	2500	2522
6	4028	4045	4058

Tabla 2.11: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 3

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<b>Sonar</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
3	0.00133739429	0,62667131

Tabla 2.12: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 3

4. **Sonar 4:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 4 aparecen en la siguiente tabla.

<b>metros</b>	<b>Experimento 1</b>	<b>Experimento 2</b>	<b>Experimento 3</b>
0,4	0	5	10
1	793	796	809
2	2405	2420	2439
3	4072	4080	4093

Tabla 2.13: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 4

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<b>Sonar</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
4	0,00063090	0,44766653

Tabla 2.14: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 4

5. **Sonar 5:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 5 aparecen en la siguiente tabla.

<b>metros</b>	<b>Experimento 1</b>	<b>Experimento 2</b>	<b>Experimento 3</b>
0,6	0	4	8
2	900	905	910
4	2477	2480	2481
6	4068	4070	4066

Tabla 2.15: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 5

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<b>Sonar</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
5	0,00133000	0,05990694

Tabla 2.16: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 5

6. **Sonar 6:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 6 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	10	0	20
1	900	905	910
2	2477	2479	2481
3	4081	4086	4081

*Tabla 2.17: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 6*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
6	0,00063729	0,40906222

*Tabla 2.18: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 6*

7. **Sonar 7:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 7 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	45	55	60
2	998	1010	1026
4	2487	2500	2511
6	4040	4050	4070

*Tabla 2.19: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 7*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
7	0,00134379	0,58874210

*Tabla 2.20: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 7*

8. **Sonar 8:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 8 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	20	25	30
2	1020	1030	1040
4	2490	2500	2515
6	4028	4045	4055

*Tabla 2.21: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 8*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
8	0,00134505	0,59608844

*Tabla 2.22: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 8*

9. **Sonar 9:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 9 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	18	22	25
1	918	922	928
2	2493	2500	2510
3	4055	4065	4076

*Tabla 2.23: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 9*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
9	0.0006416563	0,39593188

*Tabla 2.24: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 9*

10. **Sonar 10:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 10 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	3	7	11
2	1015	1025	1042
4	2505	2515	2533
6	404	4045	4051

*Tabla 2.25: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 10*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
10	0,00133649	0,60832137

Tabla 2.26: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 10

En resumen el resultado obtenido en la calibración de los sonares para el PC ha sido:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	0,00060928	0,44904194
2	0,00133691	0,57979492
3	0,00133739429	0,62667131
4	0,00063090	0,44766653
5	0,00133000	0,05990694
6	0,00063729	0,40906222
7	0,00134379	0,58874210
8	0,00134505	0,59608844
9	0,0006416563	0,39593188
10	0,00133649	0,60832137

Tabla 2.27: Resumen de los resultados obtenidos en la calibración de los sonares para el PC

### **3.1.1. Conclusiones de la calibración de los sonares en el PC**

De los resultados obtenidos habría que destacar que no en todos los sonares se cubre todo el rango de distancias, habiendo 2 casos:

1. No llegando a su distancia máxima, la señal satura (llega al valor máximo de 4095) un poco antes.
2. Perdiéndose rango dinámico, es decir, no se llega al valor máximo (4095) en la máxima distancia y/o no se llega al valor mínimo para la mínima distancia.

Esto se debe fundamentalmente a que no se puede ajustar el offset individualmente para cada sonar sino que es común, sólo pudiendo variar individualmente la ganancia.

Si se observa la función de transferencia del convertidor I/V implementado en la caja de los sonares (Ecuación 2.2), el único parámetro que puede variar de un sonar a otro (exceptuando la Ganancia que es configurable por el usuario) es la resistencia que ve a la entrada del circuito, que aunque en teoría debería ser idéntica para todos los sonares en realidad no lo es.

$$V_{salida} = Ganancia \cdot (I \cdot R + V_{offset}) \quad (2.2)$$

Se va a explicar con un ejemplo porque al variar la resistencia que ven los distintos sonares no es posible cubrir todo el rango del sonar o no es posible utilizar todo el rango dinámico debido a que se tiene el offset común para todos los sonares.

Para el *sonar X* la resistencia vale  $R=1K\Omega$ , por lo tanto para que se cubra todo el rango del sonar 1 se tiene que cumplir que:

1. Para  $I=4\text{mA}$  entonces  $V_{salida}$  debe ser igual a  $-10\text{V}$
2. Para  $I=20\text{mA}$  entonces  $V_{salida}$  debe ser igual a  $10\text{V}$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene que:  $G=10/8$  y  $V_{offset} = -12\text{V}$  y además se cubre el rango completo (Figura 2.24).

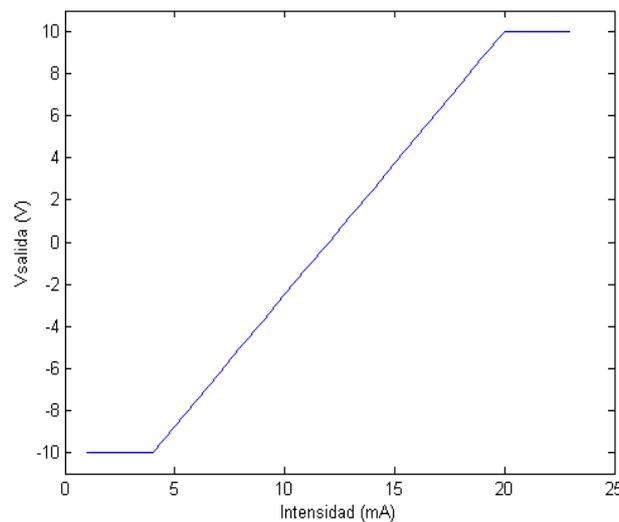


Figura 2.24: Sonar para el que se cubre el rango completo

Sin embargo si ahora para el *sonar Y* hay una variación de la resistencia de entrada de un 20% (por lo que  $R$  pasaría a valer  $1,2K\Omega$ ) entonces para los mismos valores de  $V_{offset}$  y  $G$  se obtendría el siguiente resultado.

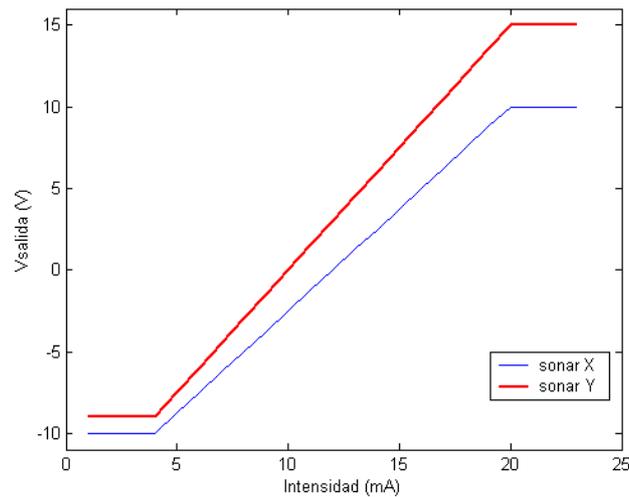
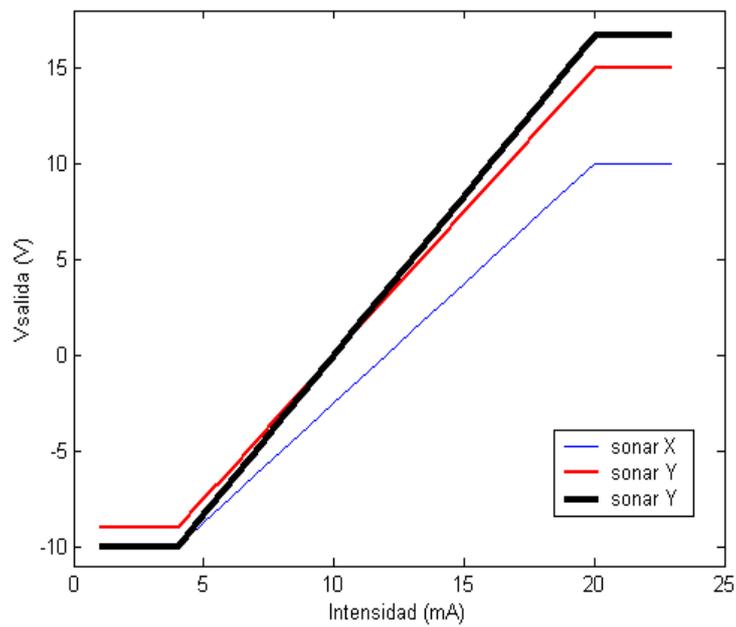


Figura 2.25: Comparación sonar X y sonar Y para los mismos valores de Ganancia y  $V_{offset}$

Se puede observar como ha habido una variación tanto de la pendiente como del desplazamiento y lo más importante es que ahora para el *sonar Y* ya no se cubre todo su rango, cubriéndose ahora desde 4mA a unos 17mA (que es donde se obtienen los 10V a partir de ahí aunque se obtenga un valor más alto en el conversor I/V después este saturará en el conversor A/D del controlador). Además nunca se llega a -10V lo que indica que se está utilizando sólo una parte del rango disponible.

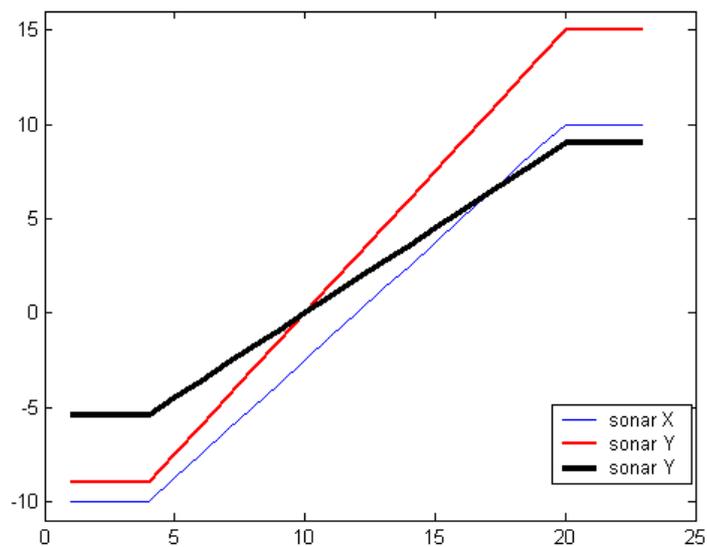
Para intentar que se cubra todo el rango posible para el *sonar Y* sólo se puede variar la ganancia por lo tanto va a ser imposible cubrirlo todo, sin perder rango dinámico. En este punto se tienen 2 opciones cubrir todo el rango de intensidad pero disminuir el rango dinámico o aprovechar todo el rango dinámico pero no cubrir todo el rango de intensidad, saturando la señal en uno de los extremos. Para este último caso se decidió que era más importante tener el máximo rango posible en las distancias cortas que son las más críticas, entonces la condición para calcular G va a ser que para  $I = 4\text{mA}$   $V_{salida}$  sea igual a -10V. Resolviendo el sistema se obtiene que la ganancia debe ser  $G = 25/18$ .

Finalmente en la siguiente figura se observa como ya se cubre desde el límite inferior del rango (línea con el trazo más grueso) hasta 16mA.



*Figura 2.26: Comparación sonar X e Y con la misma ganancia y sonar Y con un valor distinto de ganancia pero no cubriendo todo el rango de intensidad*

Para la otra opción se puede disminuir la ganancia de tal forma que se cubra todo el rango de intensidad pero sin embargo disminuya el rango dinámico ya que sólo se utiliza una parte del posible rango que va de -10V a 10V, como aparece en la siguiente figura para una ganancia igual a  $G=9/12$  (trazo más grueso).



*Figura 2.27: Comparación sonar X e Y con la misma ganancia y sonar Y con un valor distinto de ganancia pero no cubriendo todo el rango dinámico*

Aunque en este ejemplo se ha exagerado la variación de R para que los resultados se pudieran observar fácilmente, esto ha servido para entender la problemática encontrada a la hora de ajustar los rangos de los sonares y la imposibilidad de cubrir todo el rango completo para todos ellos.

### 3.2. Calibración de los sonares para el DSP

1. **Sonar 1:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 1 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	0	40	80
1	270	290	310
2	670	680	690
3	1010	1015	1023

Tabla 2.28: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 1

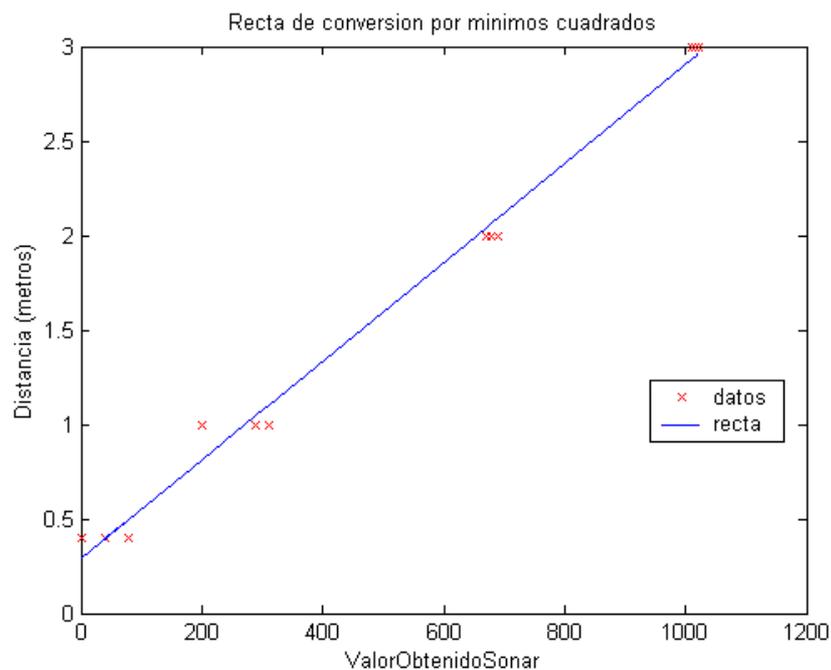


Figura 2.28: Recta de conversión para el sonar 1

Los valores que identifican a la recta de conversión son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	0.002659225	0.2537675

Tabla 2.29: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 1

2. **Sonar 2:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 2 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	40	80	0
2	200	290	340
4	640	650	660
6	1000	1010	1020

Tabla 2.30: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 2

Tras realizar el ajuste de estos cálculos a una recta por mínimos cuadrados se obtiene:

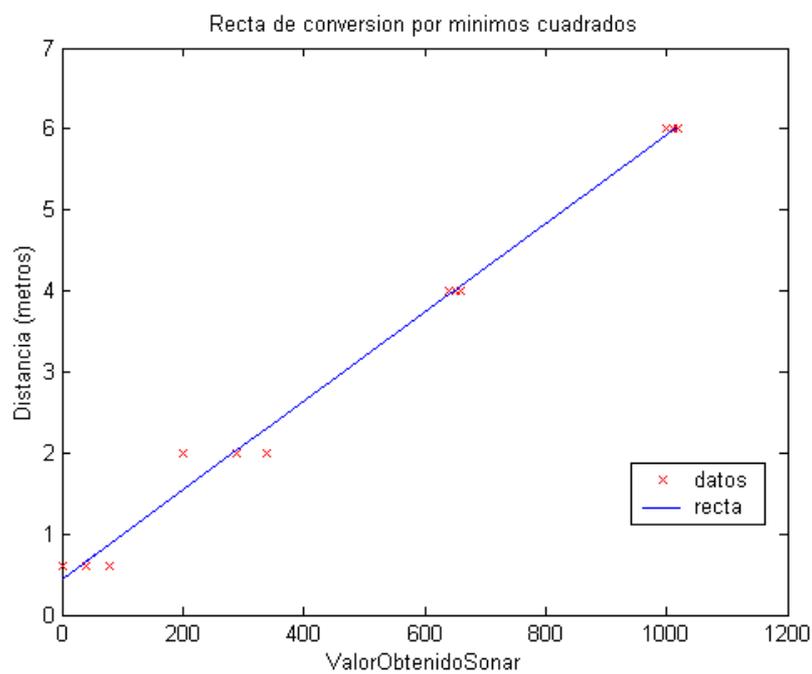


Figura 2.29: Recta de conversión para el sonar 2

Los valores que identifican a la recta de conversión son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2	0.0054692	0.4632637

Tabla 2.31: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 2

3. **Sonar 3:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 3 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	0	20	40
2	280	295	310
4	670	675	680
6	1010	1015	1023

Tabla 2.32:Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 3

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
3	0.0054133718	0.4365474

Tabla 2.33:Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 3

4. **Sonar 4:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 4 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	20	30	40
1	260	275	290
2	670	675	680
3	1010	1015	1020

Tabla 2.34:Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 4

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
4	0.00262616	0.2902037

Tabla 2.35:Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 4

5. **Sonar 5:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 5 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	10	25	40
2	290	310	330
4	690	700	720
5,8	1023	1023	1023

*Tabla 2.36: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 5*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
5	0.005216329	0.403157869

*Tabla 2.37: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 5*

**6. Sonar 6:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 6 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	0	35	70
1	250	270	280
2	630	645	670
3	1000	1010	1020

*Tabla 2.38: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 6*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
6	0.002664523	0.297714279

*Tabla 2.39: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 6*

**7. Sonar 7:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 7 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	15	25	40
2	260	270	290
4	630	640	650
6	1010	1015	1020

*Tabla 2.40: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 7*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
7	0.005452944	0.48487362

Tabla 2.41: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 7

**8. Sonar 8:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 8 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	10	20	30
2	280	290	310
4	660	670	680
5,5	1010	1015	1020

Tabla 2.42: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 8

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
8	0.0054126776	0.450427

Tabla 2.43: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 8

**9. Sonar 9:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 9 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,4	40	50	60
1	260	275	290
2	650	660	670
3	1013	1015	1023

Tabla 2.44: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 9

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
9	0.002665941	0.2670294

Tabla 2.45: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 9

**10.Sonar 10:** los valores obtenidos en los experimentos para el sonar 10 aparecen en la siguiente tabla.

<i>metros</i>	<i>Experimento 1</i>	<i>Experimento 2</i>	<i>Experimento 3</i>
0,6	5	35	70
2	300	320	340
4	710	725	740
6	1010	1020	1023

*Tabla 2.46: Valores obtenidos en los experimentos para el sonar 10*

Los valores que identifican a la recta de conversión calculada por mínimos cuadrados son:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
10	0.00540598	0.31186194

*Tabla 2.47: Valores que identifican a la recta de conversión para el sonar 10*

En resumen el resultado obtenido en la calibración de los sonares para el PC ha sido:

<i>Sonar</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
1	0.002659225	0.2537675
2	0.0054692	0.4632637
3	0.0054133718	0.4365474
4	0.00262616	0.2902037
5	0.005216329	0.403157869
6	0.002664523	0.297714279
7	0.005452944	0.48487362
8	0.0054126776	0.450427
9	0.002665941	0.2670294
10	0.00540598	0.31186194

*Tabla 2.48: Resumen de los resultados obtenidos en la calibración de los sonares para el PC*

### **3.2.1. Conclusiones de la calibración de los sonares en el DSP**

Con el DSP aparece el mismo problema que en el PC, es decir, no se pueden calibrar todos los sonares perfectamente debido a que se tiene un offset común. Además como se puede observar en los resultados obtenidos, en el DSP existe una mayor variación de los valores de los sonares con respecto al valor medio, esto se debe a que en el DSP la resolución del convertidor A/D es de 10 bits mientras que en el PC es de 12 bits, lo cual provoca que en el DSP se obtenga una menor resolución de las medidas. Sin embargo en ambos controladores la resolución que se obtiene de los sonares (en metros) es lo suficientemente buena para las aplicaciones donde se utilizan.