

8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE DE INGENIERÍA

“DESARROLLO Y CONTROL DE UN ROBOT SUBMARINO POR MEDIO DEL MICROCONTROLADOR MC68HC11F1” (TARJETA FACIL_11)

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N :

ARTURO CABRERA MADRIGAL AARÓN CANTARELL ZALDÍVAR GERARDO ALBERTO MONTES DE LA PARRA

DIRECTOR DE TESIS: DR. YU TANG XU

CODIRECTOR DE TESIS: M.I. ANTONIO SALVÁ CALLEJA

CIUDAD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE 2002



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: P. A. Casarola Alberto

Montes De La Sierra

FECHA: 25/11/02

FIRMA: [Signature]

**ESTE NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

OBJETIVO.

El objetivo de ésta tesis es **mostrar física y teóricamente el desarrollo de un prototipo de robot submarino controlado por un microcontrolador**, cuya función principal es seguir una trayectoria previamente programada, con límites de profundidad no mayores a dos metros, no muy robusto y autónomo.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Aarón Cantarell

Zaldívar

FECHA: 25/11/02

FIRMA: [Firma]

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Guillermo Alberto

Montes De Los Rios

FECHA: 25/11/2002

FIRMA: [Firma]

INDICE

Capítulo I	1.1 Antecedentes	1
	Breve historia	2
	Submarino Nucleares	8
	1.2 Submarinos Autónomos	9
	1.3 Vehículos subacuáticos operados de forma remota (VSR)	9
	1.4 Vehículos subacuáticos autónomos (VSA)	10
	Arquitecturas de control utilizadas en VSA	10
Capítulo II	Diseño mecánico	12
	2.1 Principio de Arquímedes	12
	2.2 Sumergibles de desplazamiento fijo	13
	Sumergibles con desplazamiento vertical	14
	2.3 Sumergibles de desplazamiento variable	14
	2.4 Control de lastre	17
	2.5 Factores de estabilidad	19
	Equilibrio en el eje transversal y de cruzía	19
	Giroscopio y piloto automático	22
	Control en base a los planos traseros y delanteros	22
	2.6 Motores tipo servo	23
	Características mecánicas	24
	2.7 Válvulas tipo Check	25
	2.8 Nuestro diseño mecánico	26
Capítulo III	Diseño electrónico	33
	3.1 Planteamiento del problema	33
	3.2 Solución del problema	33
	Tipos de baterías	35
	3.3 Electrónica del Microcontrolador	36
	Modos de operación	36
	Mapa de memoria del 68HC11FI	38
	3.4 Esquema del circuito de potencia	39
Capítulo IV	Control	40
	4.1 Introducción a los sistemas de control	40
	4.2 Tipos de sistemas de control	41
	4.3 Componentes de los sistemas de control	43
	Los transductores y captadores	43
	Los sensores	43
	Tipos de sensores	44
	Elementos actuadores	45

	4.4 Control de velocidad de un motor DC (PWM)	46
	4.5 Desarrollo del control del prototipo	46
	4.6 Listado del programa	49
	4.7 Programa	60
Capítulo V	Resultados	65
	Conclusiones	
	Apéndice	
	Bibliografía y referencias	

CAPÍTULO 1.

1.1 Antecedentes.

El deseo o la necesidad de conquistar el océano y sus profundidades, nace en el ser humano tan pronto como se hecha a la mar. En un principio utilizó medios individuales, muy simples, para poder ver en el fondo de los mares. Al darse cuenta de que los objetos aparecen borrosos, al introducir la cabeza en el agua y abrir los ojos, creó artefactos para establecer una visión nítida, basados en interponer una capa de aire entre los ojos y el medio marino, como el visor, careta o antejo de calafate¹.

Con la escafandra autónoma, el buceador puede desplazarse libremente en el medio acuático. Mediante lentos y acompasados movimientos de pies, los cuales están generalmente provistos de aletas, con esto se logró avanzar a una velocidad reducida (de una a dos millas por hora). Esto, además del poco aire que lleva el buzo, limita las distancias a las que podría moverse.

Tales limitaciones dieron origen al diseño de un vehículo con un sistema propulsor que incrementó las posibilidades de desplazamiento en el medio submarino. Es el caso del *acuaplano submarino o plancha de exploración submarina*, el medio de propulsión más simple que se ha creado, que consiste en una tabla remolcada por una embarcación, desde la superficie, a velocidades moderadas. Dicha tabla tiene dos asas, de las que el buceador puede sujetarse y lograr movimientos hacia arriba o hacia abajo, además de que le sirve como timón de profundidad.

Algunos especialistas del buceo perfeccionaron este sencillo acuaplano: lo convirtieron en el ala volante de Vanlaer, tabla en forma triangular, también llamada manta o raya autónoma, sobre la cual el buceador se tiende y maniobra con una palanca de mando que acciona unos timones de profundidad que permiten toda clase de movimientos. La cabeza del operador se protege con un parabrisas de plexiglás² que evita choques de corrientes que pudieran arrancarle la boquilla o máscara.

El siguiente paso en el diseño de aparatos propulsores se dio con la construcción de los torpedos o propulsores eléctricos de los cuales existen numerosos modelos, todos ellos basados en el mecanismo de una hélice situada en el extremo posterior de un propulsor cilíndrico, de donde el buceador se sujeta trasladarse.

En la exploración de las grandes profundidades, el desplazamiento de los buzos ya no suele hacerse en aparatos para buceadores autónomos, por lo que se construyeron vehículos en donde los tripulantes quedan protegidos por un casco, generalmente esférico, que resiste mejor las presiones del medio marino y posee ventanillas para observar el exterior. En el

¹ máscara que cubre ojos y nariz provista de un vidrio plano de cristal.

² material orgánico sintético, transparente y moldeable.

interior de estos aparatos, llamados sumergibles, la atmósfera se mantiene a la presión normal y el aire es respirable, utilizando depósitos o fijando el bióxido de carbono sobrante por medio de compuestos químicos.

Breve historia.

El sueño de colonizar el fondo del océano, lleva a muchos inventores de diversos países a crear máquinas destinadas a este fin. Sólo sus aplicaciones militares, impulsaron realmente el desarrollo de este tipo de nave. La primera referencia de una inmersión se relaciona con Alejandro Magno, de quien se decía, tenía una campana de cristal con la que podía observar el fondo marino. Dos siglos después, el genial inventor, Leonardo Da Vinci hizo varios bocetos sobre diferentes máquinas, entre ellas, una nave para viajar bajo el agua, como se muestra en la figura 1.



Figura 1 Boceto de una nave para viajar bajo el agua.

Durante mucho tiempo soñaron los hombres con un barco que, como un pez, pudiera navegar bajo la superficie, pero no fue sino hasta 1620 cuando se construyó la primera nave submarina. En ese año, un holandés llamado Cornelius Jacobzsoon Drebbel, que vivía en Inglaterra, diseñó y construyó el primer submarino. En realidad, no era más que un bote de remos cubierto de cuero y untado de cebo. Según las crónicas de la época, este barco transportó a doce remeros y a varios pasajeros en una serie de viajes bajo el Támesis, de varias horas de duración. Además Drebbel utilizó tubos de aire mantenidos en la superficie del agua por flotadores, para asegurar los suministros de oxígeno al barco mientras éste se encontraba bajo el agua.

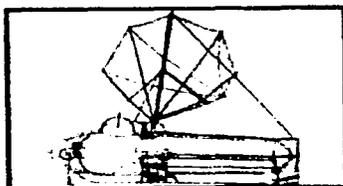
En cuanto a operaciones militares el primer submarino usado en una operación tenía forma de huevo y sólo transportaba a una persona. Se llamaba la *Tortuga de Bushnell* y fue inventado en la década de 1770 por el ingeniero estadounidense David Bushnell. Esta nave se propulsaba con dos dispositivos parecidos a tornillos que se hacían funcionar de forma manual: se sumergía cuando una válvula permitía entrar el agua marina a un tanque de lastre y se elevaba cuando el agua era expulsada por una bomba operada manualmente. La nave se mantenía en posición vertical gracias a unos lastres de plomo, como se muestra en la figura 2. Como no tenía ninguna fuente de oxígeno mientras estaba bajo la superficie, sólo podía sumergirse durante media hora.



Figura 2.

Primer submarino usado en una operación militar llamado *Tortuga de Bushnell*

En 1779 el inventor estadounidense Robert Fulton³ construyó un submarino de 6,4 metros al que llamó *Nautilus*, ver figura 3. Su forma era similar a la de los submarinos modernos. Fulton aplicó en su nave dos importantes innovaciones: timones horizontales y verticales y el uso del aire comprimido como fuente de oxígeno durante la inmersión. Al sumergirse, el *Nautilus* se desplazaba mediante una hélice de cuatro aspas que se operaba de forma manual. En la superficie, el barco se desplazaba gracias a unas velas sujetas a un mástil plegable.

Figura 3 Submarino de 6.4 m llamado *Nautilus*.

Entre los siglos XVI y XVII comienzan a aparecer diversos inventos, que permiten al hombre permanecer debajo del agua durante cortos intervalos de tiempo. Cabe destacar como los más importantes:

- *Campana de Toledo, 1538.*

Con la que se hizo una demostración en aguas del Tajo⁴. Fue más bien un número circense en que lo, más difícil todavía, era que los ocupantes de la campana se sumergían con una vela encendida y después de cierto tiempo en inmersión salían con la vela encendida.

- *Campana de Bono, 1582.*

Con la que se efectuaron inmersiones en aguas de Lisboa, recuperándose el ancla perdida por un navío.

- *Inventos de Jerónimo de Ayanz 1597-1603.*

Verdadero precursor del buceo, que ya en 1603 ideó entre otros un tubo respirador y una barca submarina cerrada y bien calafateada, propulsada por remos.

- *Equipo de Diego de Ufano 1613.*

Capitán de Artillería español, inventó una especie de equipo para recuperar los cañones y barcos hundidos del fondo del mar.

³ Mecánico estadounidense de origen Irlandés, orientó sus trabajos a la aplicación del vapor a la navegación.

⁴ Río de la península Ibérica, el de más longitud y caudal.

- *Diseños de Pedro de Leresma 1623.*

Inventos para salvamento de buques y buceo reseñados en un manuscrito inédito existente en el Museo Naval.

- *Invento de Francisco Nuñez Melian 1626.*

Utilizado en la extracción del cargamento de oro y plata que llevaba el Galeón Santa Margarita hundido en 1622 en la península de Florida.

- *Campana de Cadaqués 1677.*

Utilizada en la extracción de los tesoros hundidos de cabo Creus. Los ocupantes de la campana, a finalizar la jornada de trabajo lo que recibían como salario, era las monedas que eran capaces de coger con la boca y las manos una sola vez.

- *Campana del inglés Edmund Halley 1656-1742.*

El primer éxito técnico importante en la campana, fue logrado por el físico y astrónomo Sir Edmund Halley, quién observó el problema del agotamiento de oxígeno e ideó un sistema para enviar hacia abajo aire fresco en barriles. La comunicación entre el barril y la campana se hacía a través de una manguera de cuero bien empapada en cera y aceite. La campana estaba provista, además, de una pequeña válvula que permitía la salida del aire expirado cuando penetraba el fresco.

- *Spalding de Edimburgo, 1775.*

Perfeccionó el aparato de Halley añadiendo a la parte superior de la campana una cámara provista de grifos que podía llenarse de agua para la inmersión, mientras que para emerger, el agua era expulsada. *Nos hallamos ante un principio del lastre de agua que utilizan los submarinos actuales.*

- *Campana de John Smeaton, 1788.*

La cual se le suministraba mediante una manguera, aire de una bomba instalada en superficie. Esto representó una auténtica revolución técnica, produciendo la invención de muchos equipos de buceo.

En la última mitad del siglo XIX se hicieron muchos intentos para obtener una forma de propulsión eficiente bajo el agua, el científico español Isaac Peral en 1885 ideó un motor eléctrico alimentado por unos acumuladores inventados por él mismo, aunque antes, en 1864, el inventor español Narciso Monturiol desarrolló con éxito un sistema de propulsión a vapor en su segundo submarino *Ictineo*, ver figura 4a y 4b.



Figura 4a. Ictineo I



Figura 4b. Ictineo II

Los científicos investigaban con fuentes de energía como el aire comprimido, el vapor y la energía eléctrica. El primer submarino práctico con una fuente de energía eficiente fue creado por el inventor estadounidense John Philip Holland, que utilizó un sistema de propulsión dual. Fue botado en 1898 y disponía de un motor de gasolina para moverse en la superficie y de un motor eléctrico para hacerlo bajo el agua. La nave, de unos 16,2 metros, se bautizó *USS Holland*.

Los primeros submarinos utilizaban un casco de forma tubular que les concedía mejores prestaciones en inmersión, sin embargo, el periodo de inmersión era por aquel entonces muy limitado. Fueron los ingenieros alemanes quienes adaptaron a el casco de forma tubular común, un casco exterior que dotaba al submarino de un aspecto parecido al de un destructor y le confería unas prestaciones superiores para la navegación en superficie haciendo que las contraindicaciones en navegación sumergida fueran despreciables ya que pasaban el mayor tiempo de una patrulla en superficie.

A inicios del siglo XX el ingeniero estadounidense Simon Lake⁵ hizo varias contribuciones que aún perduran en los submarinos actuales, destacando la superestructura de inundación libre que diseñó en 1898.

Entre los sumergibles contruidos para realizar trabajos de exploración científica destacaban los siguientes:

- *El submarino Pino, Italia 1903.*

Podía descender hasta 150 metros y era utilizado para buscar barcos hundidos. Su casco ovoide alargado, de cinco metros de largo y tres de ancho, avanzaba impulsado por una hélice propulsora central y por dos laterales, que eran accionadas mediante energía eléctrica. Al llegar al fondo, se deslizaba por medio de una rueda y se podía suspender o posar en un punto determinado gracias a una barra de plomo que era manejada desde el interior. Contaba además con un par de pinzas para recoger muestras.

- *El Aluminaut, alemania 1906.*

Los alemanes utilizaron motores diesel en submarinos-laboratorio extraordinariamente perfeccionado que puede maniobrar en profundidades de hasta 5,000 m. Su casco, construido con una aleación de aluminio de 16 centímetros de espesor, puede transportar tres toneladas de equipo científico. Presenta las ventajas del batiscafo⁶ y las de un submarino corriente, pues su cuerpo no está separado del flotador.

La propulsión del *Aluminaut* proviene de una hélice de popa que le permite alcanzar una velocidad de 4.5 kilómetros por hora. Este aparato es capaz de recorrer una zona de 130 kilómetros, con una autonomía máxima de 72 horas, y sus viajes de trabajo tienen un promedio de 32 horas de inmersión.

- *El Seapup.*

Es un sumergible preparado para trabajar en zonas cercanas a la plataforma continental a una profundidad de 1 800 metros. Cuenta con un par de esquíes para deslizarse sobre el fondo marino y su autonomía de trabajo es de 12 horas.

- *El USS Albacore, 1953.*

Se construyó con un nuevo tipo de casco en forma de gota. Este casco incrementaba tanto la velocidad durante la inmersión que casi todos los submarinos posteriores se han construido con esta forma.

⁵ Destacado inventor Norteamericano, sus submarinos estaban provistos de ruedas, para utilizarlas en caso de necesidad al viajar por el fondo del mar.

⁶ Aparato especialmente diseñado para realizar inmersiones submarinas a gran profundidad.

Con base en los programas de investigación científica de los norteamericanos en torno a las profundidades de la plataforma continental se construyeron los submarinos *Star-I*, *el Star-II* y, recientemente, *el Star-III*. La principal característica de éste es que resulta fácilmente maniobrable en aguas someras (poca profundidad).

- *El Star-I.*

Es un pequeño submarino monoplaza de 2.5 metros de largo que posee una cúpula transparente para ver en la superficie, así como dos ventanillas para observar en las profundidades. Es impulsado por dos hélices laterales que le ayudan a moverse en todas direcciones y permanecer estacionado. Su autonomía máxima es de 18 horas, y puede trabajar en aguas costeras a 60 metros de profundidad, con corrientes moderadas. Su equipo de navegación está integrado por compás (brújula), velocímetro, medidor de presión, ecosonda⁷, sonar y por un sistema para comunicarse con la embarcación nodriza y con los buzos. El *Star-I* ha sido utilizado en proyectos de investigación, como el *Sealab*, puesto en práctica en 1964, y en operaciones de salvamento y exploración.

- *El Star-II.*

Manipulado por la Universidad de Pensilvania, y bautizado con el nombre de *Asherah*⁸, tiene capacidad para dos personas, el piloto y el investigador, y su visibilidad es extraordinaria, ya que cuenta con seis ventanillas: dos anteriores, dos posteriores y dos laterales. Su velocidad promedio es de un nudo⁹, aunque puede alcanzar la máxima, que es de cuatro lo cual permite resistir las corrientes de la plataforma continental. También puede desplazarse en todas direcciones y quedar fijos entre dos aguas. Su autonomía máxima es de 24 horas, con un límite recomendable de 10 horas de inmersión.

Uno de los proyectos de investigación en el que ha participado es en el estudio arqueológico del Mar Egeo, frente a Turquía, realizado en colaboración con la National Geographic Society.

- *El Star-III.*

Fue diseñado con el fin de llegar a mayores profundidades de la plataforma (hasta 600 metros), y su velocidad se ha aumentado a seis nudos, con el objeto de resistir las corrientes, que en esa zona se incrementan.

Existe un submarino que es capaz de lograr mayores descensos: el *Alvin*, del Instituto de Oceanografía Woods Hole, de Estados Unidos, que puede transportar a dos hombres y llegar a una profundidad de 3,000 metros, con una autonomía de 36 horas. Posee un casco de siete metros de largo y una esfera de fibra de vidrio, de dos metros de diámetro, la cual cuenta con cuatro ventanillas de observación y con un brazo mecánico que colecta objetos hasta de 20 kilos y puede colocarlos en una canastilla localizada en la parte anterior de la esfera. Esta nave tiene la capacidad para transportar una tonelada de equipo científico.

El *Alvin* inició sus trabajos en 1964, y desde entonces ha sido utilizado en numerosos trabajos de investigación, como el que se realizó en 1966 para rescatar una bomba de hidrógeno situada a 800 metros, en el Mediterráneo, frente a las costas españolas.

⁷ Aparato para medir las profundidades del mar y detectar bancos de peces.

⁸ Diosa fenicia de las profundidades

⁹ Equivalente a 1 milla marina por hora (1 milla marina = 1,852 metros).

Se dice que las medidas de seguridad de este submarino son de las más avanzadas, puesto que posee un brazo mecánico que puede enganchar y soltar las rocas, además de que su esfera puede desprenderse y emerger a la superficie con sus ocupantes.

El "platillo buceador", construido por la organización Cousteau¹⁰, ha servido de modelo para los submarinos llamados *Deepstar*, programados para llegar a diferentes profundidades. El primero de ellos se puede sumergir hasta 1,200 metros y tiene una esfera de dos metros de diámetro que puede ser ocupada por tres pasajeros. En la segunda versión, la esfera fue más sólida y llega a 4,000 metros, y la tercera se armó con una esfera de titanio que permite alcanzar hasta 6,000 metros.

El diseño de los submarinos de investigación científica se perfecciona cada día más, de acuerdo con los programas de estudio para los que serán utilizados. Así, los científicos cuentan con una variedad de modelos que han ido venciendo las grandes presiones existentes en los fondos oceánicos, lo que permitirá al hombre explorar en el futuro todas las profundidades. Si se considera que este avance, que le ha permitido pasar de los 200 metros de profundidad a los 11,000 metros, sólo se ha llevado tres décadas, la perspectiva de lograr conocer todo el fondo oceánico se puede estimar como una realidad.

Con la invención del radar y del torpedo autopropulsado el submarino se convirtió en un importantísimo instrumento de la guerra naval. La efectividad de esta nave submarina como arma letal quedó demostrada por primera vez en la I Guerra Mundial, cuando los submarinos alemanes llamados *U-boats*, ver figura 5, se emplearon contra los barcos mercantes y de guerra aliados.

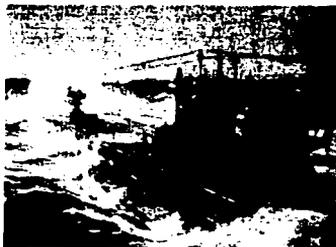


Figura 5. Submarino de la flota *u-boats* utilizado en la I Guerra Mundial.

Entre la I y la II Guerra Mundial se realizaron varias mejoras en el diseño y en el funcionamiento de los submarinos.

Dispositivos de rescate como el pulmón *Momsen* (un equipo ligero de respiración) se hicieron obligatorios, para que la tripulación lo usara en caso de emergencia. Al llegar la II Guerra Mundial un submarino estadounidense común podía desarrollar una velocidad de 18 nudos en superficie propulsado por motores diesel, y de 8 nudos bajo el agua con motores eléctricos. Las operaciones submarinas se veían limitadas en el tiempo por la carga

¹⁰ Jacques-Yves Cousteu (nacido en 1910), se ha distinguido en la investigación submarina.

máxima admisible por las baterías; por eso los submarinos estaban obligados a ascender de forma regular.

Durante la II Guerra Mundial los alemanes introdujeron la chimenea de ventilación que permite que un submarino recargue sus baterías aun estando sumergido a la profundidad del periscopio. Esta chimenea consiste en un tubo largo que sobresale de la superficie del mar en el que se encuentran unos conductos de entrada que suministran aire al motor y conductos de salida para los gases de la combustión. Este dispositivo extendió el alcance de los submarinos de modo sustancial.

Submarinos Nucleares.

La innovación más revolucionaria en la navegación submarina llegó con la aplicación de la energía nuclear a la propulsión de los submarinos. Con un pequeño núcleo de uranio estos submarinos pueden navegar durante años sin reposar y pueden hacerlo a velocidad máxima, sólo limitados por la cantidad de comida que logren almacenar y la resistencia de sus tripulaciones, ya que son capaces de generar toda el agua y el oxígeno que precisen.

En 1960 se construyeron en Estados Unidos los primeros submarinos que transportaban misiles balísticos de combustible sólido. Como ejemplo se muestra en la figura 6a y 6b.

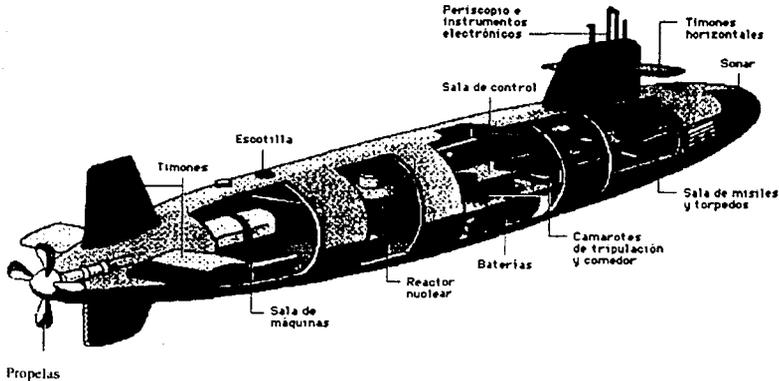


Figura 6a. Esquema de los elementos de un Submarino con reactor nuclear.



Figura 6b. Submarino con misiles balísticos de combustible sólido

Las aplicaciones civiles de este invento se limitan al campo de la investigación y determinados usos industriales. Existen ambiciosos proyectos sobre estaciones submarinas en los que el submarino tendrá un papel protagonista. Aunque en la actualidad es impensable, quizá en un futuro se convertirá en un medio de transporte mas.

1.2 Submarinos Autónomos.

La compañía norteamericana Rebikoff desarrolló un vehículo sin tripulación y controlado desde la superficie con cables al que se le llamó Poodle con la finalidad de ubicar e inspeccionar naufragios.

Con éste hecho podemos observar que los submarinos no fueron creados solamente para fines bélicos sino que como toda tecnología tiene las dos caras de la moneda, depende de los fines que el ser humano le quiera dar.

En 1973 y 1978 los sumergibles, con fines de investigación, eran energizados por grandes baterías en su interior y estaban destinados principalmente a la observación realizada directamente por su tripulante. De manera paralela, el desarrollo de tecnologías y sistemas computacionales permitieron el auge en la fabricación de vehículos subacuáticos operados de manera remota (VSR) que se utilizaron intensamente a partir de 1977.

1.3 Vehículos Subacuáticos operados de manera Remota (VSR).

Éste tipo de vehículos son controlados y navegados continuamente desde un operador humano en la superficie. Esto requiere de un gran ancho de banda y confiabilidad de comunicación con el vehículo en profundidades someras pero también, a muy grandes profundidades es un lastre que hay que venir remolcando. Los propulsores y el vehículo como tal debe ser grande y el cable lo más delgado posible aunque la limitante principal es la energía con la que se ha de alimentar.

Este tipo de vehículos pueden ser clasificados en dos grupos basados en su maniobrabilidad:

- *Navegantes*: Utilizados para inspección, búsqueda, colocación de objetos, localización de objetos, etc., en los que están desplazándose continuamente durante toda su misión.
- *Suspendidos*: Utilizados para inspecciones detalladas y trabajo físico con objetos determinados; son sostenidos o suspendidos desde la embarcación.

1.4 Vehículos Subacuáticos Autónomos (VSA).

El desarrollo de vehículos subacuáticos autónomos (VSA) comenzó hace ya algunos años. Muchos de los vehículos originales eran extremadamente simples y con muchas limitaciones tecnológicas pero su potencial en el campo militar y científico era ampliamente reconocido.

Los vehículos subacuáticos autónomos son vehículos sin tripulación y sin cables que van a superficie, llevan su propia fuente de energía e inteligencia para realizar su misión que consiste en una serie de instrucciones preprogramadas potencialmente modificables en línea por la información generada por los sensores¹¹. Los costos de operación se reducen considerablemente ya que no requieren de operadores humanos.

La ausencia del cable a la superficie es una limitante de energía, reduciéndose el tiempo de la misión, además, por la ausencia de operadores humanos, las operaciones se encuentran limitadas por el sistema de control así como las capacidades de los sensores.

Arquitecturas de control utilizadas en (VSA).

- *Arquitectura jerárquica vertical (hierarchical)*: Como su nombre lo indica divide el sistema de control en niveles de importancia. El nivel más alto es responsable de todas las tareas en conjunto, y los más bajos son los responsables de resolver las tareas o problemas específicos. Es una estructura en serie donde la comunicación es posible sólo entre niveles adyacentes. La información o lectura de los sensores van del nivel más bajo al superior. Esto permite verificar fácilmente sus algoritmos de control y de estabilidad aunque cuando se requieren modificaciones hay que hacerlas para todo el sistema completo, en este aspecto no es muy flexible esta arquitectura.
- *Arquitectura jerárquica horizontal (heterarchical)*: A diferencia de la arquitectura anterior, ésta es una estructura en paralelo en que todos los módulos del sistema se pueden comunicar entre sí, sin haber algún nivel o módulo intermedio o de supervisión. Es muy flexible ya que toda la información de los sensores y las señales de control pueden ser accedidas fácilmente por cualquier componente del sistema aunque la falta de supervisión

¹¹ Todo órgano, instrumento o sistema capaz de percibir una señal (mecánica, acústica, luminosa, calorífica, eléctrica o electrónica).

de un módulo específico representa un problema ya que la cantidad de información entre los módulos complica los algoritmos de control.

- *Arquitectura incluida (subsumption)*: Está dividido en tareas trabajando en paralelo sin un nivel de supervisión. Las tareas son capas de control que se inicializan por los sensores; una capa puede incluir otra capa y ambas trabajar en paralelo. El control y la información se encuentran distribuidos por todas las capas, cada capa procesa sólo su propia información, no existe una estructura de información global. Este esquema es muy flexible y robusto aunque la sincronización entre las capas y tareas es compleja además de que es difícil controlar su estabilidad.

- *Arquitectura híbrida*: Es una combinación de las arquitecturas anteriores. El sistema se divide en dos niveles. El nivel superior utiliza arquitectura vertical para implementar estrategias, mientras que el nivel inferior, con arquitectura incluida u horizontal para controlar los subsistemas del hardware. Para la arquitectura incluida los comandos del nivel superior son traducidos en sus correspondientes tareas para su procesamiento. Para la arquitectura horizontal, en el módulo inferior se divide en varios módulos trabajando en paralelo. Una situación de emergencia inicializa el nivel superior para tomar el control de todo el sistema.

El rápido desarrollo logrado por la técnica submarina en el curso de los últimos años se acelerará todavía más en el futuro. Sólo resta esperar que el "vivir bajo el agua tenga únicamente fines científicos y prácticos en beneficio de la humanidad.

CAPÍTULO II

DISEÑO MECÁNICO.

Para esta etapa del proyecto nos evocamos al diseño mecánico, que es una de las partes esenciales que consta nuestro trabajo de tesis.

Como primer punto se tomó la base teórica del principio de Arquímedes.

2.1 Principio de Arquímedes.

Los objetos flotan sobre los fluidos. Aún cuando se hundan, aparentemente pesan menos que cuando están sumergidos. Estos efectos reflejan el hecho de que una fuerza hacia arriba ayuda a sostener un objeto sumergido. A esto se le da el nombre de **fuerza de flotación (FF)**.

“Un cuerpo sumergido parcial o totalmente en un fluido es empujado hacia arriba con una fuerza igual al peso del fluido que desplaza.”

Principio de Arquímedes¹.

Por ejemplo, si un objeto de volumen V se sumerge en un fluido, la fuerza de flotación FF , sobre éste será igual al peso del fluido desplazado, o sea, el peso del volumen V del fluido. La masa del fluido desplazado está dada por la definición de densidad.

$$m = \rho_{\text{fluido}} V$$

m = masa del fluido desplazado
 ρ_{fluido} = densidad del fluido
 V = Volumen del fluido desplazado

de modo que el peso mg es simplemente $\rho_{\text{fluido}} Vg$. Ésta es la FF que experimenta el objeto sumergido.

En ciertos casos es simple mostrar el principio de Arquímedes. Considérese una porción cilíndrica de un material sumergida en un fluido. La FF sobre el cilindro será igual a la diferencia entre la fuerza en el fondo P_2A y la fuerza en la tapa P_1A .

$$FF = P_2A - P_1A = A(P_2 - P_1)$$

FF = fuerza de flotación
 P_1A = Fuerza en la tapa
 P_2A = Fuerza en el fondo

Sin embargo, $P_2 - P_1$ es simplemente la diferencia de presión debida a una columna de fluido de altura $h=1$. Sabemos que ésta es igual a $\rho_f g l$. Donde ρ_f es la densidad del fluido, y entonces:

$$FF = A\rho_f g l = \rho_f g V$$

A = Área de la base
 g = Gravedad
 l = Altura

¹ Arquímedes, nacido en s.298 AC, muerto en s.212 AC, fue el matemático más grande de los tiempos antiguos. Nativo de Siracusa, Sicilia

Donde el volumen del fluido desplazado V se sustituye por un volumen igual del cilindro sumergido, Al .

Pero por la definición de densidad, $\rho = (m/V)$, vemos que $\rho_f V$ puede reemplazarse por la masa del fluido desplazado m_f , obteniéndose:

$$FF = m_f g = \text{peso del fluido desplazado.}$$

2.2 Sumergibles de desplazamiento fijo.

En estos modelos el peso no varía durante la inmersión, o sea, se mantiene constante el peso. Entonces la forma de operar es la siguiente: se trata de modelos con una flotabilidad positiva ²(cuanto menos mejor, para poder sumergirlo con menor esfuerzo), y la forma de lograr la fuerza necesaria para la inmersión, es dinámica.

Se hace uso de la fuerza impulsora del motor para lograr velocidad, se sobredimensionan los planos de inmersión, y estos, trabajando como verdaderas "alas" hidrodinámicas crean el empuje hacia abajo necesario; esta pequeña fórmula da una idea de la relación entre la velocidad, el ángulo de inclinación del plano y la fuerza generada por superficie plana sumergida. Ver figura 2.1

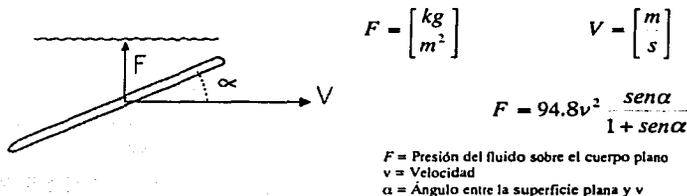


Figura 2.1 fuerza ejercida sobre una superficie plana en movimiento

Como puede verse en la figura 2.2a y 2.2b, toda la maniobra se realiza con ambos planos, delanteros y traseros trabajando simultáneamente; éstos durante la navegación en superficie deben estar totalmente sumergidos, ser de generosas dimensiones y grueso perfil alar, además como dijimos que la flotabilidad positiva debe ser pequeña, ello se logra con un peso muerto muy liviano, ya que cada gramo de peso por encima de la línea de flotación requiere del mismo valor de flotabilidad positiva para llegar a la línea de flotación e idéntica fuerza para hundirlo.

² Cuando la fuerza de flotación es mayor al peso del cuerpo.

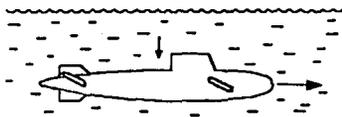


Figura 2.2a Inmersión

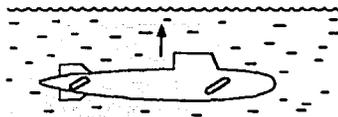


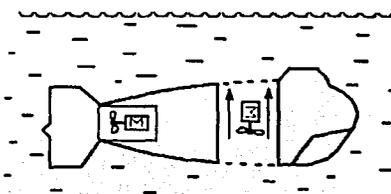
Figura 2.2b Emerger

Estos modelos solo pueden sumergirse estando en movimiento, ya que detenido no existe fuerza hidrodinámica y necesitan de una considerable velocidad.

Sumergibles con desplazamiento vertical.

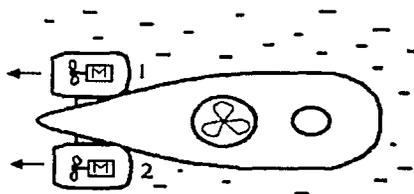
Para solventar este inconveniente existe un método también hidrodinámico que se basa en el trabajo de un motor eléctrico empujando hacia abajo para la inmersión. Se presta muy bien para modelos del tipo científico, de rescate o experimentales.

De esta manera se pueden hacer modelos controlados totalmente por motores sin planos de mando (profundidad), como se puede observar en la figura 2.3a y 2.3b.



MOTOR EMPUJANDO INMERSION
MOTOR DETENIDO EMERGER

Figura 2.3a



1 y 2: motores de AVANCE Y GIRO

Figura2.3b

A pesar de las desventajas, los submarinos de desplazamiento fijo tienen una a favor: su sencillez, ya que basta con un compartimiento estanco (sin fugas de agua) para todo el equipo y ningún mecanismo presurizado.

2.3 Sumergible de desplazamiento variable.

Es naturalmente lo que más se aproxima a una maniobra real. Salvando las distancias, variar el desplazamiento significa variar el peso del modelo, lográndose la inmersión ya sea con un incremento del peso o una disminución del volumen o ambas variables combinadas, a la inversa se logra la maniobra de emerger. Respecto a los sistemas prácticos tenemos algunos de los más usados:

- Sistema de émbolo o émbolos.

Es el más antiguo de los métodos ,ver figura 2.4, básicamente se trata de un pistón accionado a través de una gran reducción por un motor eléctrico, una de cuyas caras está en contacto con el agua y la otra con el aire del interior del tanque lastre³. La hermeticidad de éste debe ser mejor que en los casos anteriores, ya que debe soportar presiones y depresiones originadas por el desplazamiento del émbolo. La presión del agua actuando sobre la cara activa del pistón origina grandes fuerzas que deben ser vencidas con la reducción mecánica. Ello implica que se deben usar motores relativamente grandes para su accionamiento.

Si se utiliza un émbolo en proa y otro en popa, ver figura 2.5, se puede prescindir de los planos de profundidad para el control de la estabilidad en el eje transversal. Sobra decir que el sello entre el cilindro y el pistón debe ser perfecto pero al mismo tiempo de muy liviano deslizamiento para no originar elevados consumos de energía; recordemos respecto a las presiones, que a 3 metros de profundidad tenemos una presión de 300gr/cm², si trabajamos con un pistón de 5 cm de diámetro tendremos una fuerza a vencer de 5,89 kg. y para desalojar ½ lt. de agua deberá recorrer una carrera de 26 cm aproximadamente. Como resultado: Grandes baterías o muy pequeña autonomía.

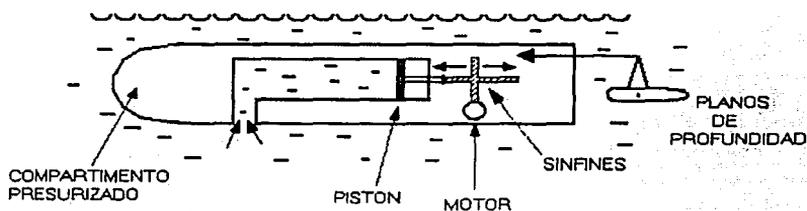


Figura 2.4 Sistema de un émbolo

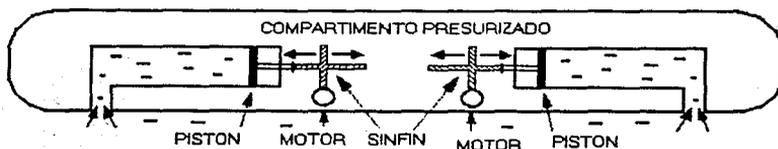


Figura 2.5 Sistema de dos émbolos

³ Piedra, arena, agua u otra cosa de peso que se pone en el fondo de la embarcación.

- Sistema con bombas.

Se basa en bombas reversibles generalmente de paletas o engranajes, también sirven algunos tipos de las que se usan para lavar parabrisas en los autos (sapitos) y una válvula para el venteo que se acciona con el mismo servo que actúa el interruptor de la bomba, ver figura 2.6.

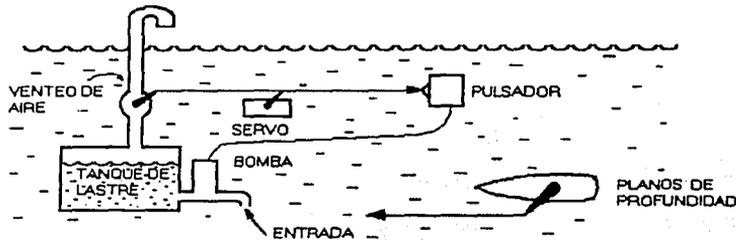


Figura 2.6 Sistema de bombas activadas por servomotor

Abriendo el venteo, el lastre se inunda por propia presión del agua, pero se puede acelerar accionando la bomba en reversa.

Cuando el submarino ya se ha sumergido "casi" totalmente, se cierra el venteo y detiene la bomba; el resto de la inmersión se logra con los planos de profundidad, con el submarino avanzando con los motores. Así para emerger, bastará con encender la bomba, la cual sacará agua haciendo un ligero vacío en el poco aire del lastre, y luego cuando emerge a la superficie el snorkel (o sea la toma de la válvula de venteo), podremos abrir ésta y continuar bombeando el agua hacia afuera.

Un inconveniente es que si llegamos a inundar demasiado los lastres, o si no cierra bien la válvula de venteo, quedará el modelo irremediablemente en el fondo.

- Sistema con gases a presión

Se puede decir, que es el sistema más difundido. El 80% de los modelos a escala lo emplean en alguna de sus variantes, que básicamente son dos bien definidas: con gases licuados, Freón, Butano, etc., baja presión de trabajo, bajo volumen de almacenamiento y gran autonomía. Y con gases a alta presión CO₂, aire, etc., éstos requieren un volumen mayor de almacenaje, y el manejo de la alta presión requiere de técnicas especiales.

El sistema trabaja de la siguiente manera, ver figura 2.7:

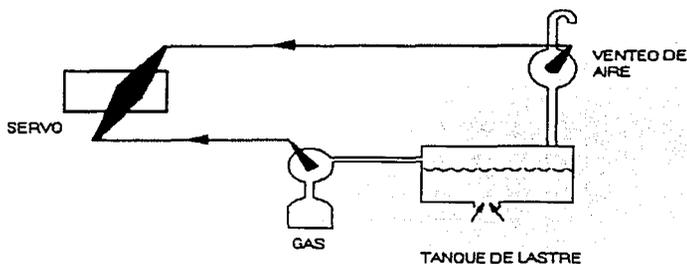


Figura 2.7. Sistema con gas a presión

Un servo controla en un sentido la apertura de la válvula de venteo para inundar por propia presión del agua los lastres, y en otro sentido cierra el venteo y abre la válvula del gas para desalojar el agua por la boca que se halla siempre abierta. La operación es sumamente sencilla, de allí la popularidad del sistema.

Para el control preciso del volumen con presiones muy altas, son ideales las válvulas solenoide, o sea válvulas controladas directamente por corriente.

- Sistema con circuito cerrado.

Para mejorar la ineficiencia de los sistemas de émbolo y aumentar la seguridad, veremos un sistema que opera de la siguiente manera: el aire almacenado a baja presión (aprox. 20 lbs) en un depósito, es liberado en el tanque de lastre para evacuar el agua, con una válvula solenoide, y se efectúa la maniobra de emerger. Para la inmersión, se enciende un pequeño compresor que toma el aire del lastre y lo comprime en el depósito pasando por una válvula de retención, para evitar cualquier retorno de aire al detener el compresor. Para evitar la entrada de agua en el compresor y resto del circuito, se instala un sensor de agua que detiene éste tan pronto el líquido llega a un nivel cercano a la boca de aspiración, así nuevamente este aire comprimido puede ser liberado a voluntad para regular la inmersión.

Hasta aquí hemos visto los sistemas más comunes a que recurrimos para el gobierno de los límites de profundidad en nuestros modelos. Veremos en adelante algunas variantes prácticas de estos sistemas que pretenden solucionar y mejorar o simplificar algunos problemas de cada sistema en particular.

2.4 Control de lastre.

En la figura 2.8 vemos básicamente un sistema de bomba; ésta ha sido reemplazada por una hélice de muchas palas de elaboración casera. Se ha agregado una válvula tipo "flaper" de goma accionada por el mismo servo que enciende la turbina y una válvula que cierra la entrada del snorkel cuando este se sumerge. Así para la inmersión sólo es necesario abrir la

válvula flaper, y para emerger se acciona el motor para evacuar el agua, se abre la flaper y por supuesto debe estar el snorkel asomado por encima de la superficie del agua. En estos modelos, como podrá deducirse, cuando se corta la inmersión el modelo debe conservar una pequeña flotabilidad positiva que se vence fácilmente con los planos de inmersión, así al detener el motor, por propia fuerza asomará el snorkel y permitirá la entrada de aire para que la bomba haga su trabajo (en este caso la hélice). Esto desde luego requiere de cierta habilidad para ejecutarse y también bastante práctica.

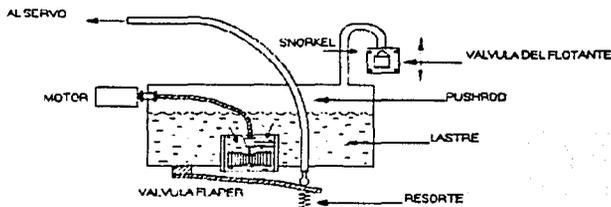


Figura 2.8 Control de válvula mediante una hélice

Con el advenimiento y la posibilidad de adquirirlas fácilmente, las bombas del tipo de engranajes de no muy gran caudal de agua pero sí de gran presión nos simplificarán las cosas y podremos lograr un sistema sumamente sencillo para modelos de 80 hasta 100 cm de longitud y para profundidades no mayores de los dos metros, ver figura 2.9.

Como se ve, la bomba es el único nexo entre el agua exterior y la presión interior. Al bombear agua al depósito flexible, o sea al interior del compartimiento presurizado, se produce la inmersión. Al invertir la bomba y extraer el agua el submarino emerge.

Como se notará enseguida, en realidad es una variante del sistema de émbolo en donde este es reemplazado por una bomba; como defecto diremos que estas bombas siempre tienen una fuga y esta siempre irá al interior del compartimiento o al interior del motor. También hay una profundidad en la cual la bomba es incapaz de sacar el agua ingresada porque se ha superado su presión máxima y al estar trabajando con el agua sucia de lagos y piscinas puede aspirar elementos que la deteriorarán.

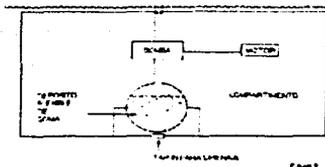


Figura 2.9 Bombeo a un depósito flexible de goma

2.5 Factores de estabilidad.

Se han descrito los principales sistemas para hacer operativo un submarino, desde los más elementales hasta los más complejos. Pero no todo termina en la elección de uno u otro sistema de inmersión. Ese es desde luego el primer paso y allí debemos tener en cuenta el tamaño del modelo, tipo, materiales de los que disponemos y por supuesto el costo de cada uno, para luego pasar a considerar algunos factores mas que hacen a la funcionalidad de nuestro modelo. Por ejemplo, es necesario que el submarino mantenga una postura horizontal, en el sentido del eje transversal, ver figura 2.9, para garantizar una trayectoria a igual profundidad; y una postura vertical en el eje de crujía para evitar que el modelo de una vuelta de campana al actuar el *torque*⁴ del motor.

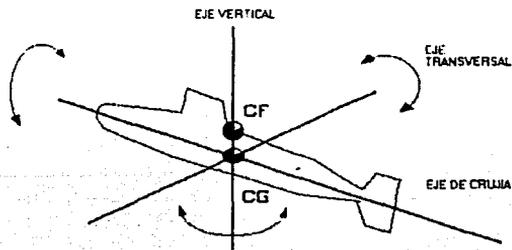


figura 2.10 Ejes de importancia para la estabilidad

Equilibrio en el eje Transversal, Vertical y de Crujía.

El equilibrio en el eje vertical sólo afecta el rumbo a seguir y generalmente se controla con los timones verticales.

El equilibrio en el eje transversal se logra haciendo que coincidan en una misma línea vertical el centro de gravedad CG del modelo y el centro de flotabilidad CF, dos fuerzas opuestas y equilibradas, ver figura 2.11.

⁴ Sistema de dos fuerzas iguales en modulo, paralelas y de sentidos contrarios que produce un sentido rotatorio (Par).

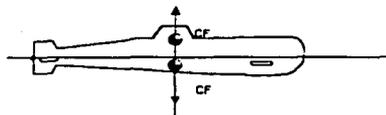


Figura 2.11 Equilibrio en el eje transversal

Con la figura 2.11 se comprenderá la dificultad de centrar estas dos fuerzas si se dispone de dos o más lastres. Una solución sencilla es dotar a nuestro modelo de un sólo lastre situado perfectamente sobre el CG del submarino. Cuando estas dos fuerzas coinciden tanto en flotación (lastres vacíos) como en inmersión (lastres llenos), el modelo mantendrá una perfecta postura horizontal. Las correcciones se pueden hacer de dos maneras según sea necesario: desplazando elementos que corran el CG de su posición (plomo, baterías, etc), o colocando elementos que cambien de lugar el CF (elementos con flotabilidad positiva: cámaras lastre, etc.). Por el contrario, el equilibrio en el eje longitudinal (de crujía) parece sencillo de alcanzar ya que para que éste sea mayor sólo basta aumentar la distancia en sentido vertical entre el CF y el CG. Ver Figura 2.12.

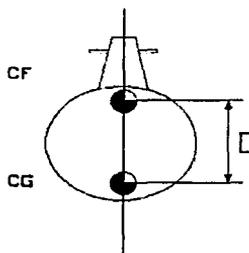


Figura 2.12 Equilibrio en el eje longitudinal

Si la distancia entre centros (D) es pequeña, el momento adrizante⁵ también lo es, y el modelo puede dar vueltas sobre sí mismo ante la torsión del motor, especialmente si está en ángulo de inmersión o emersión. Para aumentarlo se colocan los elementos más pesados lo más bajo posible, y aquellos que otorgan flotabilidad positiva lo más arriba posible.

No olvidemos que en flotación, todos los elementos que se encuentren por encima de la línea de flotación normal (aún aquellos que en inmersión tengan flotabilidad positiva) actuarán como generadores de peso. Por ello para facilitar el equilibrio es deseable que todo aquello que se halle por encima de la línea de flotación sea lo más liviano posible y de flotación casi neutra. Ya en navegación a máxima velocidad interviene lo que llamamos "equilibrio dinámico".

⁵ Adrizar. Enderezar o levantar la nave.

En un submarino moderno con el eje motor alineado en el centro de éste, sólo puede alterar su equilibrio la resistencia hidrodinámica de la vela, ver figura 2.13.

Debido a ella, el centro del área lateral (CAL) queda por encima de la línea de empuje, originando un par de desequilibrio que sumado a otras fuerzas, debidas a la diferente velocidad de las venas fluidas por encima y por debajo del modelo, tienden a subir la proa del modelo.

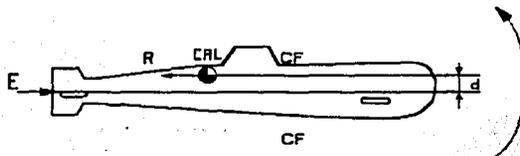


Figura 2.13 Ubicación del centro de área lateral (CAL)

Naturalmente, esto se corrige con la posición de los planos de profundidad, creando una fuerza hacia abajo que reestablezca el equilibrio. Pero allí además de los planos también se pueden inclinar los ejes hacia abajo para aumentar el par de equilibrio.

Como mantener este equilibrio en forma manual obliga a continuas correcciones, se puede recurrir a algunos sistemas de "ayuda automática de equilibrio". Así, para evitar que se pierda el equilibrio en el eje transversal, lo cual si el submarino no está visible y la profundidad es suficiente puede ocasionar que nuestro submarino realice un rizo hacia arriba, clavándose en el fondo o excediendo la profundidad de seguridad, se ha recurrido a varias alternativas.

Por ejemplo, si el modelo dispone de dos lastres, un tubo curvo con cierta cantidad de mercurio hace las veces de sensor de inclinación, ver figura 2.14, y conecta uno u otro lastre según sea la inclinación hacia proa o popa actuando ya sea las bombas, válvulas de gas o motores de los émbolos, según sea el sistema elegido.

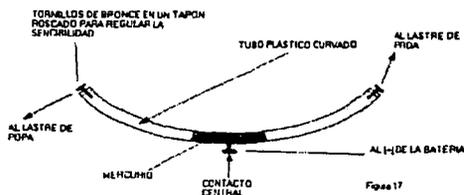


Figura 2.14 Sensor de inclinación

Giroscopio y piloto automático.

El giróscopo o giroscopio es cualquier cuerpo en rotación que presenta dos propiedades fundamentales: la inercia giroscópica o "rigidez en el espacio" y la precesión, que es la inclinación del eje en ángulo recto ante cualquier fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación. Estas propiedades son inherentes a todos los cuerpos en rotación. El término giroscopio se aplica generalmente a objetos esféricos o en forma de disco montados en un soporte cardánico⁶, de forma que puedan girar libremente en cualquier dirección; estos instrumentos se emplean para demostrar las propiedades anteriores o para indicar movimientos en el espacio.

La rigidez en el espacio de un giroscopio es consecuencia de la primera Ley del movimiento de Newton ("Un cuerpo tiende a continuar en su estado de reposo o movimiento uniforme si no está sometido a fuerzas externas"). Así, el volante de un giróscopo, una vez que empieza a girar, tiende a seguir rotando en el mismo plano en torno al mismo eje espacial. Un ejemplo de esta tendencia es una peonza en rotación, que tiene libertad para moverse en torno a dos ejes además del eje de giro. Otro ejemplo es una bala de fusil, que —al girar en torno a su eje durante el vuelo— presenta inercia giroscópica, y tiende a mantener una trayectoria más recta que si no girara. Por mucho que se mueva, incline o ludee el giroscopio, el volante mantendrá su plano de rotación original mientras siga girando con suficiente velocidad para superar el rozamiento de los rodamientos sobre los que va montado.

Los giróscopos constituyen una parte importante de los sistemas de navegación automática o guiado inercial en aviones, en naves espaciales, misiles teledirigidos y barcos, pero el resultado es muy pobre en el caso de submarinos a escala, ya que el giroscopio produce la corrección durante breves instantes después del desequilibrio, mientras que la velocidad del movimiento del modelo es mucho más lenta. No olvidemos que éstos han sido hechos para controlar el rotor de cola de los helicópteros, que responden en forma casi instantánea a las correcciones.

Control en base a los planos traseros y delanteros.

Los controles automáticos se aplican sobre los planos traseros ya que los delanteros se reservan para un control manual directo. Con esta disposición se logra que el modelo siga la orden dada a los planos delanteros, ver figura 2.15, y en forma automática para los planos traseros, manteniendo la horizontalidad.

⁶ Cardan. Acoplamiento por articulación de árboles mecánicos, que hace posible la transmisión del movimiento de rotación entre ejes no alineados.

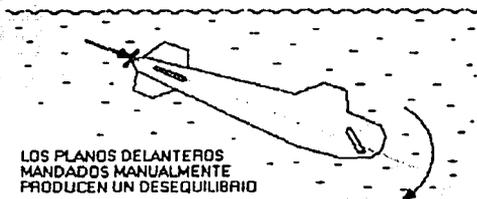


Figura 2.15

Si se insiste en el orden de descenso con los planos delanteros, la corrección automática de los traseros harán que el submarino descienda en forma horizontal (y lo mismo si la orden es de ascenso). Si no deseamos utilizar éstos mecanismos, ambos planos deberán trabajar en conjunto, para producir el ascenso y descenso en forma horizontal, figura 2.16a y 2.16b.

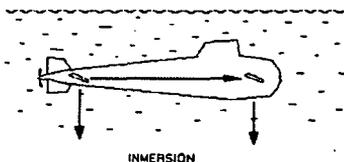


Figura 2.16a

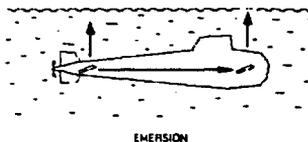


Figura 2.16b.

2.6 Motores tipo servo.

El servo es un pequeño dispositivo proveniente del modelismo y radiocontrol, utilizado para manejar los modelos a distancia, moviendo las ruedas, timones, acelerador, etc.

Su pequeño tamaño, bajo consumo de energía, notable precisión y robustez lo hacen ideal para la fabricación de pequeños robots. Internamente poseen un motor, el juego de engranajes desmultiplicador y la electrónica necesaria.

En servomotores de CD se han hecho rotores con inercias muy pequeñas, de modo que se dispone comercialmente de motores con una elevada relación de par motriz a inercia. Algunos servomotores de CD tienen constantes de tiempo extremadamente pequeñas. Servomotores de CD con niveles de potencia relativamente chicos, se utilizan en instrumental y equipos de computación, como unidades de disco, de cinta magnética, impresoras y procesadores de texto. Otros de mayor potencia, media o grande, tienen utilización en sistemas robóticos, máquinas herramienta de control numérico, etc.

Características mecánicas

El diagrama de un servomotor típico para modelismo se muestra en la figura 2.17. Un servomotor de estos es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede mover en un ángulo de aproximadamente 180 grados (no dan vueltas completas como los motores normales). Noten que tiene TRES cables que salen de su cajita. El rojo es de alimentación de voltaje (+5V), el negro es de tierra (0V ó GND). El cable blanco (a veces amarillo) es el cable por el cuál se le pide al servomotor en qué posición acomodarse (de 0 grados a 180). Dentro del servomotor, una tarjeta controladora le dice a un pequeño motor de corriente directa cuántas vueltas girar para acomodar la flecha en la posición que se le ha pedido.

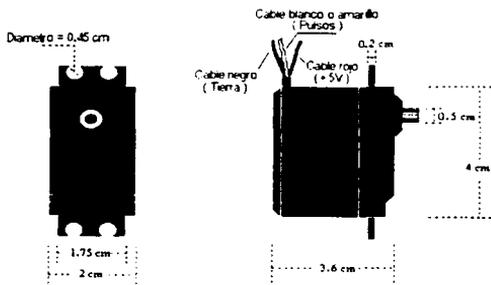


Figura 2.17 Características físicas de servomotores

En la figura 2.18 se observa cómo están acomodadas estas piezas dentro del servomotor:

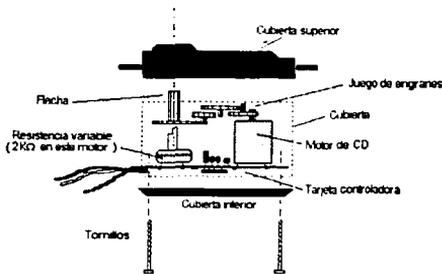


Figura 2.18 Estructura interna del servomotor

La resistencia variable (también llamada "potenciómetro") está sujeta a la flecha, y mide hacia dónde está rotada en todo momento. Es así como la tarjeta controladora sabe hacia dónde mover al motor.

La posición deseada se le da al servomotor por medio de pulsos. Todo el tiempo debe haber una señal de pulsos presente en ese cable. Si por alguna razón necesitan tener el servomotor

prendido y no pueden generarle pulsos entonces hay que acoplar ese cable a tierra (conectarlo a cero volts). Si no, se arriesgan a que la señal inducida de 60 Hz de las paredes (o de 50Hz, según en qué país vivan) haga que el servo no funcione correctamente.

2.7 Válvulas tipo Check.

Las válvulas check, permiten flujo en una sola dirección, sin embargo, el cierre de características, área del flujo, la pérdida principal y coste para cada válvula check, varía grandemente, ver las siguientes figuras 2.19a, b, c, d, e y g.

Válvulas Check del Control Automático .



Figura 2.19a.

Válvulas Check de Inclinación Del Disco.



Figura 2.19b.

Válvulas Check Amortiguadas Del Oscilación.



Figura 2.19c.

Válvulas Check De goma Del Oscilación De la Aleta.



Figura 2.19d.

Válvulas Check Dobles De la Puerta.



Figura 2.19c.

Válvulas Check Silenciosas



Figura 2.19f.

2.8 Nuestro diseño mecánico.

Como se definió al principio de este trabajo, el objetivo de dicho proyecto era desarrollar un prototipo de robot submarino que cumpliera con: una ruta previamente establecida, límites de profundidad no mayores a dos metros, no muy robusto y que fuera autónomo.

Para tener un modelo de acuerdo a nuestras necesidades se analizaron las diferentes opciones de materiales y componentes posibles a utilizar para el proyecto de tesis.

Estas necesidades se basaron en el ámbito económico, disponibilidad de materiales y de fácil obtención en el mercado. Esto se llevó a cabo teniendo en cuenta el tiempo del proyecto, el alcance que debía tener, así como el objetivo que debía cumplir.

Para el modelo del prototipo decidimos utilizar un tubo común de PVC, que debido a sus características físicas, en cuanto a su resistencia, costo, forma y de fácil manejo, es adecuado para nuestro modelo.

La justificación encontrada al utilizar este material es que nuestro objetivo no es sumergirlo a profundidades superiores a 2 metros, pasando aproximadamente 5 metros de presión de agua necesitamos analizar mayormente los materiales que se pueden utilizar, ya que empieza a afectar la presión del agua sobre los materiales, lo cual no es el objetivo del desarrollo del proyecto.

Partiendo de estas especificaciones, se tomó la decisión de diseñar el casco de un material no muy resistente, dado que a estas profundidades no se presenta una presión muy significativa, por esto se optó por trabajar con un tubo de PVC de 20 centímetros de diámetro y 70 centímetros de longitud, ver figura 2.20.



Figura 2.20 Tubo de PVC

Teniendo así un volumen total de:

$$\text{Diámetro} = 0.2\text{m} \Rightarrow \text{radio} = 0.1\text{m}$$

$$V_{\text{cilindro}} = A_{\text{base}} h = \pi r^2 h = \pi (0.1)^2 (0.7) = 0.022\text{m}^3.$$

V_{cilindro} = Volumen del cilindro
 A_{base} = Área de la base
 h = Longitud del cilindro
 r = Radio de la base del cilindro

Con este resultado podemos saber el volumen de líquido desplazado por la masa de nuestro submarino, tomándolo como un cilindro, entonces se tiene lo siguiente:

Sustituyendo lo anterior en la fórmula $m = \rho_{\text{fluido}} V$ tenemos:

$$m = (1000)(0.022) = 22\text{Kg}$$

Por lo tanto tenemos que para sumergir el submarino necesitamos una masa de 22 Kg.

Considerando al agua como el líquido, por eso su densidad es de $1000 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$.

Por lo anterior se tuvo que anexar peso extra al modelo, se decidió colocarle plomo en el interior del casco debido a su alta densidad. Esto fue considerado porque en el interior del modelo solo disponíamos de poco espacio para colocar los tanques lastre, la electrónica, el espacio para los servo-motores, recordemos que el modelo solo mide 70 cm de longitud.

El plomo, que se colocó en el interior, tuvo que ser hecho de trozos de plomo, los cuales fueron derretidos, en el laboratorio del CDM (Centro de Diseño y Manufactura) dentro de la Facultad de Ingeniería, y colocados en un molde que se asemejara a 1/3 de cilindro. En la figura 2.22 se muestra como quedó el plomo final, que le fue colocado al modelo en su interior.



Figura 2.22 Bloque de plomo

A este cilindro se le adicionaron, para que tuviera un forma más hidrodinámica, dos domos. Uno en la parte frontal y trasera, respectivamente, además de unas membranas de hule vulcanizado (a semejanza de los O'rings, utilizados comúnmente para la protección de los modelos reales). Este método fue pensado para aumentar la seguridad de los componentes internos alcanzando así el completo aislamiento de estos.

Con respecto al control de la dirección del robot se utilizaron cortes de acrílico adaptados en la parte trasera de este, fueron pegadas dos placas de acrílico mediante el uso de silicón. Estas trozos de acrílico son mostrados en la figura 2.23 y corresponden al timón y las propelas. En la figura se puede observar los cortes de acrílico, los horizontales corresponden al timón y los verticales a las propelas.

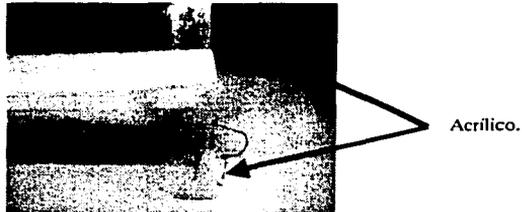


Figura 2.23 Timón y planos de profundidad

Para tener una conexión entre el timón de la parte de arriba y el timón de la parte de abajo, con la finalidad de que se movieran al mismo tiempo, fue necesario utilizar rayos para motocicleta ya que se acoplaban perfectamente a nuestro diseño, ver figura 2.24. Para las propelas se hizo de igual manera. En esta misma figura se puede observar los rayos utilizados para la unión de las propelas y timón

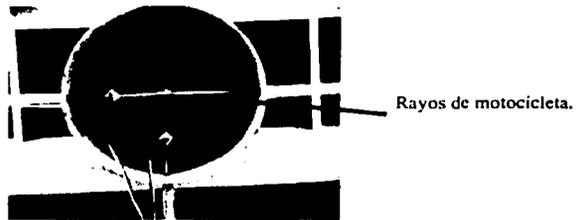


Figura 2.24 Ejes conectores

Para poder tener movimiento, tanto el timón como los planos, fueron utilizados los servomotores, estos fueron colocados en la parte baja del timón y al costado izquierdo de los planos. Fueron adheridos con silicón al tubo de PVC y mecánicamente a los rayos mediante alambre galvanizado. En la figura 2.23a y 2.23b se muestran el tipo de servo-motor utilizado y una imagen más amplia de los servos adheridos al tubo de PVC.



Figura 2.23a Servomotor

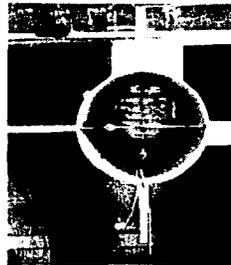


Figura 2.23b Vista trasera del prototipo

El motor de propulsión se tuvo que acoplar a un hélice, que esta diseñada para usarla en el modelismo con su propio eje y cubierta con un pequeño cilindro de cobre, con la finalidad de dejar libre la rotación del eje de la propela. Dentro del pequeño cilindro de cobre esta llenado de grasa automotriz para disminuir la fricción y evitar el paso del agua al interior del modelo. En las figuras 2.24a, 2.24b y 2.24c se muestran parte de la propela, el motor adaptado a nuestras necesidades y eje cubierto con el pequeño cilindro de cobre.

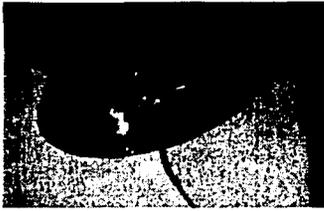


Figura 2.24a Acoplamiento del motor

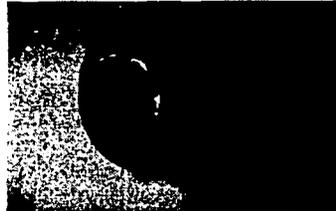


Figura 2.24b Acoplamiento de la propela

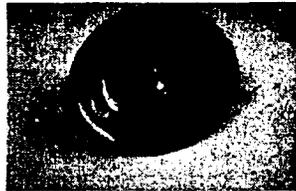


Figura 2.24c Acoplamiento del bástago o cardan

Siguiendo con el proceso de inmersión y emersión pensamos en utilizar el sistema básico que utilizan los modelos a gran escala. El cual consta básicamente de cámaras (tanques lastre) a lo largo del interior del submarino, las cuales se llenarán dependiendo de la profundidad que se necesite sumergir el submarino. Por lo tanto, como nuestro prototipo no será de más de 1 metro de longitud optamos por colocarle dos cámaras de llenado de agua, una al principio y otra al final del modelo, con el fin de aprovechar mejor el equilibrio que nos pueda proporcionar el colocarlos de esta manera.

El proceso es muy simple, al estar en el exterior nuestro modelo los tanques estarán vacíos, así cuando se requiera sumergirlo empezará a ejecutar un programa, previamente grabado en la memoria del microcontrolador, que habilitará unos pequeños motores para la extracción de agua del exterior del modelo y con esto empezará a sumergirse.

Para el caso en que se quiera emergerlo de nuevo, empezará un proceso inverso, el cual consta de un programa que habilitará otros motores, similares a los del proceso de inmersión, solo que ahora extraerá el agua que se encuentra almacenada en los tanques situados en el interior del modelo. Con esto se disminuirá el peso en el modelo lo que producirá que el prototipo emerja hacia la superficie (Por principio de Arquímedes).

Nuestro objetivo es que para cada tanque se utilicen motores pequeños, uno para la absorción del agua y el otro para la evacuación de la misma. Es decir, trabajaran de forma simultánea en el llenado y en la extracción de agua. Todo esto fue pensado con la finalidad de que no exista descompensación de pesos para la parte frontal y la parte trasera, debido a

que el modelo se va a sumergir de forma horizontal, en lugar de que primero sea la parte frontal la que se hunda y más tarde se compense con el llenado de la parte trasera. Entonces por la facilidad del control se decidió que la inmersión y emersión ocurrieran de forma horizontal, para después iniciar su trayectoria.

Lo que corresponde al los tanques lastre, fueron utilizados dos botellas de plástico, aproximadamente de un litro de capacidad, los que servirán para la inmersión y emersión del modelo. A estas botellas se les hizo un orificio en la parte superior e inferior, los que servirán para llenar y vaciar los tanques de agua mediante una manguera de plástico. También se le anexaron postes, utilizados comúnmente en los circuitos electrónicos, que servirán de sensores de nivel de agua. Simplemente al contacto con el agua se cerrará un circuito que está conectado a una fuente de voltaje y a tierra para que permita la conducción, entonces tendremos un sensado en esos tanques simple y muy básico.

En la figura 2.25 se pueden observar los tanques, también se puede apreciar las mangueras y los pequeños postes utilizados como sensores.



Figura 2.25 Tanques lastre

Para el llenado de los tanques lastre fue necesario utilizar una bomba, que ya se explicó anteriormente como funciona. Esta bomba tomará agua de la parte exterior del modelo, es decir, del medio donde se encuentre trabajando. Su labor consistirá en llenar los tanques lastre mediante la señal proveniente del microcontrolador, anteponiéndose su respectiva etapa de potencia, al ser llenados los tanques se activarán los sensores colocados en la parte superior de los tanques que conducirán una señal al microcontrolador el cuál responderá con otra señal para el apagado de las bombas.

Para el vaciado de los tanques se trabajo de manera similar, usando otra bomba, solo que ahora se activarán los sensores de la parte inferior de los tanques y finalizarán apagando la bomba una vez que se haya vaciado.

En esta parte se tuvo un contratiempo debido a que el agua, una vez apagada la bomba de llenado, seguía fluyendo y no existía nada que pudiera impedir el paso del agua hacía los tanques lastre. Fue por esto que se decidió utilizar una válvula de paso (válvula integral de paso para gas de $\frac{1}{4}$ de vuelta), para impedir el paso del agua hacía la bomba de llenado y como consecuencia al tanque lastre.

El control de esta válvula de paso fue hecho con un servo-motor que mecánicamente fue adaptado a la llave de la válvula, y con un movimiento del servo de 45 grados se tiene la válvula cerrada y abierta según sea requerida.

En la figura 2.26a y 2.26b se muestra el tipo de válvula utilizada y la adaptación mecánica que se le hizo para su correcto funcionamiento.

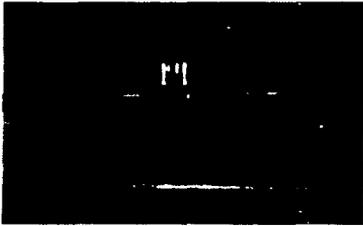


Figura 2.26a Válvula de $\frac{1}{4}$ de vuelta

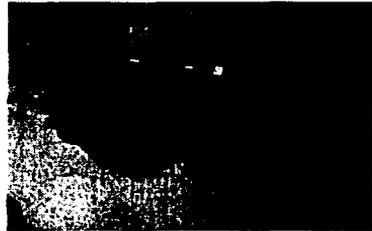


Figura 2.26b Acoplamiento mecánico de la válvula

Continuando con el diseño mecánico del robot submarino, para poder sellar la parte frontal y trasera del modelo, se decidió colocar un par de sellos del mismo tamaño del diámetro del tubo de PVC en cada extremo. Con esto se tendrá un modelo más simétrico que nos ayudará a que no tengamos problemas en el interior a causa del agua. Para poder tener un sellado sin que exista paso de agua al interior del modelo pensamos en colocar alrededor de cada sello, o de la circunferencia del PVC, un empaque pegado con silicón para una mayor fijación de los dos extremos. Esto es lo que corresponde a la parte frontal y trasera del modelo.

Por lo que respecta a la parte mecánica se finalizó su armado una vez que se tuvieron los demás componentes terminados en cuanto a su diseño, en la parte siguiente del capítulo se mostrarán los resultados que se tuvieron de la parte electrónica y de control.

CÁPITULO 3.

DISEÑO ELECTRÓNICO.

Hasta ahora hemos analizado la parte correspondiente al diseño mecánico de nuestra proyecto de tesis, en este capítulo, se explicará lo concerniente a la parte de diseño electrónico.

Se analizará la parte de acoplamiento del microcontrolador con las diferentes estancias terminales como lo son: al motor de propulsión del submarino, además de las bombas centrífugas que servirán para el almacenamiento del lastre, las cuales nos ayudarán en el proceso de la emersión e inmersión. Y como parte final daremos una breve explicación correspondiente al microcontrolador MC68HC11F1CFN3 implantado en la tarjeta FACIL_11¹.

3.1. Planteamiento del problema.

Debido a las características del funcionamiento que nos entrega el microcontrolador, cuyas salidas son del tipo TTL (Lógica Transistor-Transistor), nos vimos en la necesidad de implantar las etapas de potencia correspondientes al motor de propulsión y las dos bombas centrífugas, usadas comúnmente para lavar parabrisas en la industria automotriz (sapitos).

3.2. Solución del problema.

Con lo que respecta a los servomotores no hay la necesidad de anteponer una etapa de potencia, debido a que el funcionamiento de este tipo de motores se basa en la modulación de la señal del tipo PWM (Modulación por Ancho de Pulso), la cual es proporcionada directamente de los puertos del microcontrolador.

El tipo de motor que se utilizó para la etapa de propulsión es de corriente directa (D.C.). Y es comúnmente utilizado para el modelismo, Como los autos a control remoto, ya sean eléctricos o de combustión, así como para las propelas de una lancha, hélices de una avión, en fin, es ideal para este tipo de usos. Es por eso que decidimos utilizar uno de este tipo y por el cual también se optó por la elección de la batería.

El motor tiene una impedancia interna de 0.8 Ohms y trabaja con un voltaje de 7.2V, proveniente de la batería, y consume 9.0Amperes al trabajar solo conectado a la batería.

Esto se obtuvo en pruebas del laboratorio. Este motor se controlará con un ancho de pulso proveniente del microcontrolador, con la finalidad de que si se tiene una falla en la estabilidad del robot submarino disminuya su velocidad y pueda corregir ese falla.

¹ Diseñada por el M.I. Antonio Salvá Calleja, profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para darle solución a este problema se diseñó un arreglo del tipo DARLINGTON con transistores BC549 y TIP 141, pero se observó que podíamos tener el mismo resultado con un MOSFET con número IRFZ30 ó IRFZ34, cuyas especificaciones se presentan en el apéndice.

El esquema de potencia para el funcionamiento correcto del motor se presenta en la figura 3.1. Como podemos observar es un arreglo con un transistor BC549 y un MOSFET. El transistor se coloca entre las terminales GATE y la referencia (0 Volts) para poder así descargar la capacitancia del GATE, además del arreglo de *pull-up*.

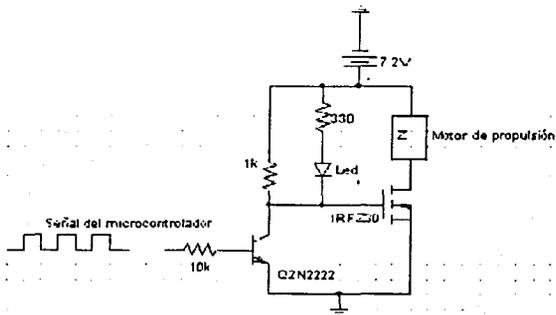


Figura 3.1 Esquema de potencia del motor

Para el funcionamiento de las tres bombas, que estarán encargadas del llenado y vaciado de los tanques lastre, se utilizaron los mismos tipos de MOSFETs..

Este tipo de bombas puede trabajar hasta con 12 Volts, pero para nuestro diseño se polarizaron con la batería de 7.2Volts y trabajan con una corriente de 1.4 Amperes.

Se observó que un MOSFET, a parte de aislar las etapas, debido a su gran impedancia de entrada consume una corriente muy pequeña y por lo tanto es más eficiente el diseño, además que el tamaño del circuito se reduce. Este tipo de MOSFET consume una corriente de GATE del orden de nanoamperes.

Su esquema se puede apreciar en la figura 3.2 y las especificaciones correspondientes en el apéndice.

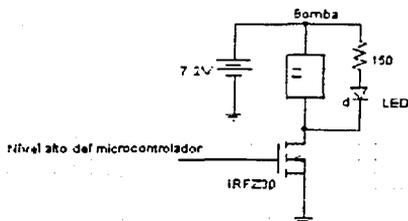


Figura 3.2 Esquema de potencia de las bombas

En la parte correspondiente a los sensores se utilizaron transistores BC558 ó BC559 en arreglo *push-pull*, en el cual la resistencia de BASE es la impedancia del agua, además se les adicionaron sus respectivos led's testigos para verificar su correcto funcionamiento de sensado. Este arreglo se observa en la figura 3.3.

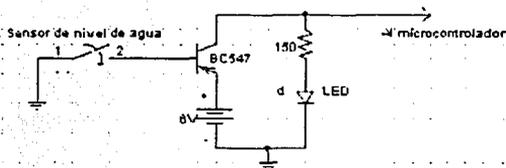


Figura 3.3 Esquema de los sensores de nivel de agua

Tipos de baterías.

Las baterías utilizadas para la polarización de nuestro circuito de potencia, así como del microcontrolador son de diferente tipo, ambas recargables.

- Una es del tipo ácido-plomo con un voltaje de 6.0 Volts y una corriente de 4.0 Amperes/hora.
- La otra es del tipo Niquel-Cadmio, con un voltaje de 7.2 Volts y una corriente de hasta 2.0 Amperes/hora.

Se usaron dos pilas para tener un aislamiento entre los servomotores y microcontrolador por un lado y el ruido eléctrico, generado a causa de los motores, por otro. Con la primera se polarizaron el microcontrolador, los servomotores y los sensores de los tanques lastre, esto fue debido a que estos elementos no tienen un alto consumo de corriente y el microcontrolador tiene una polarización de 5[V] o mayor debido a un regulador integrado en su diseño (7805). Con la segunda se polarizó el motor de propulsión y las bombas, esto fue porque el motor está diseñado para trabajar de manera óptima con una polarización de

7.2[V] y las bombas a 12[V], aunque con la polarización de 7.2[V] se obtuvo un funcionamiento adecuado con un incremento en el consumo de corriente de 0.3 [A]; es decir: a 12[V] las bombas tenían un consumo de 0.9[A] y a los 7.2[V] teníamos un consumo de 1.3 [A]. La razón por la que se utilizó una pila de 2 [A/h] fue el tamaño y el costo de la batería.

3.3 Electrónica del microcontrolador.

Introducción.

El microprocesador surge como el primer circuito integrado altamente complejo, totalmente estándar y relativamente fácil de utilizar. La combinación complejidad-programabilidad se ha extendido a dos famosos derivados del microprocesador: el Procesador Digital de Señal (DSP) y el Microcontrolador.

El microcontrolador es uno de los componentes actuales económicos y de mayor campo de aplicación. Por un precio bajo, se puede conseguir un chip que integra una CPU (Unidad Central de Proceso, por sus sigla en inglés), varios temporizadores, puertos de entrada/salida, los bloques de comunicación e incluso convertidores analógico-digital.

En nuestro caso hemos utilizado la tarjeta FACIL_11, que esta conformada por lo antes mencionado.

Un microcontrolador es un circuito integrado que incorpora una CPU y una serie de recursos internos. El CPU permite que el microcontrolador pueda ejecutar instrucciones almacenadas en una memoria.

Los recursos internos para el microcontrolador MC68HC11F1 que se ha utilizado en el proyecto son: memoria RAM (1024 Bytes) y memoria EEPROM (512 Bytes), puertos serie, puertos de entrada/salida, temporizadores, comparadores, capturadores, etc.

Modos de operación.

Los modos de funcionamiento se pueden configurar de dos formas diferentes: configuración hardware y configuración software. La configuración hardware consiste en colocar unos determinados niveles lógicos en las patas MODA y MODB del 68HC11. Al realizar un reset del 68HC11 el micro arrancará en el modo especificado por las tensiones de las patas MODA y MODB. La configuración software del modo de funcionamiento se basa en la modificación del registro HPRIO situado en la dirección \$103C. En la tabla 3.1 y 3.2 se muestra como seleccionar los modos de operación.

Input Levels at Reset		Mode	Control Bits in HPRIO (Latched at Reset)		
MODB	MODA		RBOOT	SMOD	MDA
1	0	Single Chip	0	0	0
1	1	Expanded	0	0	1
0	0	Special Bootstrap	1	1	0
0	1	Special Test	0	1	1

Tabla 3.1 Selección de modos de operación

HPRIO — Highest Priority I-Bit Interrupt and Miscellaneous

\$103C

	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0	
R/SFT:	RBOOT*	SMOD*	MDA*	IRV	PSEL3	PSEL2	PSEL1	PSEL0	
	0	0	0	0	0	1	1	0	Single Chip
	0	0	1	0	0	1	1	0	Expanded
	1	1	0	1	0	1	1	0	Bootstrap
	0	1	1	1	0	1	1	0	Special Test

Tabla 3.2 Localidad de memoria para los modos de operación

- *Modo Single -Chip.*

Este modo de funcionamiento, el mapa de memoria del 68HC11 está constituido por la memoria RAM, la memoria EEPROM, los registros de control y la memoria ROM. Este modo está pensado para funcionar cuando existe un programa grabado en la ROM, de tal manera que al arrancar se comience a ejecutar el programa indicado por los vectores de interrupción que se encuentren en ROM. No tiene direcciones externas o bus de datos y los puertos B, C y F están disponibles para propósito general de entrada salida.

- *Modo Expandido.*

Además del mapa de memoria del modo single-chip, es posible acceder al resto de las posiciones de memoria conectando memorias externas. El precio a pagar es que se pierden dos puertos de entrada salida, el puerto B y C, que se utilizarán como bus de datos y direcciones. En este modo se puede utilizar la memoria ROM interna, pero también es posible deshabilitar esta ROM y acceder a memoria externa y con ello a los vectores de interrupción que se encuentren en esa memoria externa.

- *Modo Boot-Strap*

Este modo difiere del single-chip en que los vectores de interrupción no se encuentran en la memoria ROM de 8k sino que se encuentren en otra memoria ROM, llamada ROM de arranque. Al arrancar en este modo, automáticamente comienza a ejecutarse el programa BOOT-STRAP que se encuentra en ROM.

- *Modo Special-Test.*

Igual que el modo boot-strap con la salvedad que se puede acceder a memoria externa. Este modo se utiliza para realizar pruebas de fábrica. En este modo especial se tiene acceso a determinados registros de control que en otros modos están protegidos.

Mapa de memoria del 68HC11

El MCU direcciona 64k de memoria, parte de esta memoria se encuentra dentro del MCU y el resto se puede implantar mediante chips de memoria externos al MCU. Según el modelo del microcontrolador empleado (A0, A1, A7, A8, D0, D3, ED0, E0, E1, E8, E9, E20, F1 ...) se dispondrá de más o menos recursos de memoria.

El MCU 68HC11F1 contiene 1024 Bytes de memoria en RAM y 512 Bytes de EEPROM. El cargador de la memoria ROM ocupa 256 Bytes. El registro CONFIG es implantado como un Byte de separación de la EEPROM.

Los recursos de las locaciones de memoria en el chip son los mismos en los modos expandido y single-chip. Después de un reset el bloque de registro de 96 Bytes tiene su origen en la localidad \$1000, y puede ser colocado en cualquier límite de 4k (\$x000) después de un reset escribiendo el valor apropiado en el registro INIT. Ver figura 3.2, donde se ilustra el mapa de memoria.

Después de un reset la memoria RAM de 1024 Bytes es situada a partir de la dirección \$0000. La memoria EEPROM de 512 Bytes esta localizada en la dirección \$FE00 después de un reset cuando la EEPROM se habilita en el mapa de memoria por el registro CONFIG. En los modos expandido y especial-test la EEPROM puede ser colocada en cualquier otro límite de 4k (\$xE00) mediante la programación del registro CONFIG en los bits EE[3:0] con los requeridos. En los modos single.chip y boot-strap es colocada automáticamente.

En el modo boot-strap especial, la memoria ROM es colocada en las direcciones \$BF00.\$BFFF. Los vectores para el modo boot-strap especial están contenidos en el programa de arranque. Al inicio de la memoria ROM son colocados 256 Bytes en el mapa de memoria aunque no todas las localidades de memoria sean usadas.

3.4 Esquema del circuito de potencia.

En la figura 3.3 podemos observar el diagrama esquemático del circuito final.

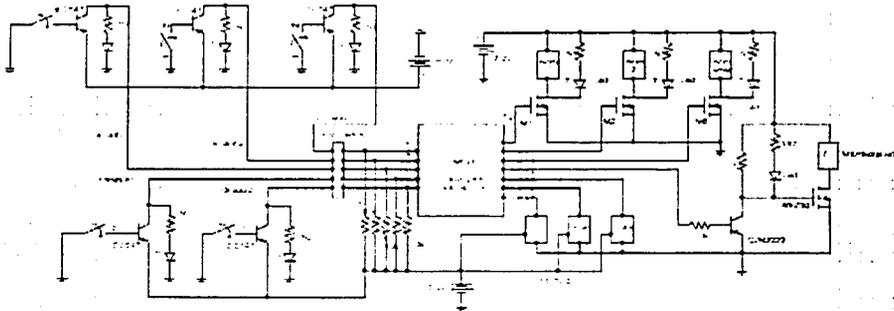


Figura 3.3 Esquemático del circuito final

Una vez que se tuvo el diseño de cada una de las etapas de potencia para cada elemento, se procedió a pasar el circuito a un diseño impreso, figura 3.4. Este circuito impreso se diseñó en un programa llamado KBAN, que se usa exclusivamente para hacer circuitos impresos. Este programa es fácil de utilizar y se obtuvo vía internet en la página <http://www.webelectronica.com.ar>

CAPITULO 4.

CONTROL.

En éste capítulo se verán conceptos acerca del control en general y lo que nosotros decidimos implantar como mejor opción para fines del proyecto de tesis. A su vez nos evocamos a tener un control, en su mayoría de lazo abierto (descrito en este capítulo), para lo que es toda la trayectoria que sigue el prototipo; como la activación de las bombas para el llenado y vaciado de los tanques lastre, la activación a su momento de cada uno de los servomotores con sus distintas frecuencias de modulación por ancho de pulso para los ángulos que son requeridos, la activación del motor de corriente directa para la propulsión del prototipo, los sensores que estarán checando el nivel de agua de los tanques lastre, los tiempos requeridos para cada una de las etapas de la trayectoria.

Por lo que, como se vio en un capítulo anterior, todo esto se controló en base a la programación del microcontrolador antes descrito. A continuación se dará una breve introducción a los distintos tipos de control comúnmente usados en éste tipo de aplicaciones.

4.1 Introducción a los sistemas de control.

El término sistema de control automático tiene, hasta cierto punto, la función de dar una explicación por sí mismo. La palabra "sistema" implica no sólo un componente sino una serie de componentes que trabajan en conjunto en una forma prescrita para alcanzar una meta específica. Esta meta es, el control de cierta cantidad física, dicho control se lleva a cabo de un modo automático, con frecuencia sin que sea necesaria la supervisión de un ser humano.

Un sistema es simplemente una combinación de elementos relacionados entre sí, necesarios para realizar una o varias funciones que ninguno de ellos podría realizar por sí mismo. *Un sistema de control cumple la función de mantener cualquier variable de interés, por ejemplo la velocidad de un automóvil, dentro de límites predeterminados.*

El controlador del sistema proporciona la inteligencia para el sistema de control. Puede ser un controlador lógico programable (PLC), un microprocesador, un microcontrolador, una computadora analógica o digital, un juego de relevadores y/o contactores, etc. Su función primaria es actuar como el administrador de tiempos y de tráfico de señales del sistema, de modo que todas las funciones ocurran en el instante y en el orden correctos. En otras palabras, el controlador es el cerebro del sistema de control.

Un sistema de control puede ser definido como: el medio a través del cual una cantidad o variable cualquiera de interés en una máquina, mecanismo o proceso, es mantenido o alterado de acuerdo con un patrón de comportamiento deseado. En todo sistema de control,

el foco central de atención es la planta, es decir la máquina, mecanismo o proceso a ser controlado.

La mayoría de los sistemas de control, tanto de procesos como de movimiento, constan de elementos funcionales similares. Estos elementos generales son el controlador del sistema, los actuadores, los controles del actuador, los sensores y las interfaces de señal, figura 4.1

Por lo tanto los elementos generales de un sistema de control se pueden observar mejor en la siguiente imagen:

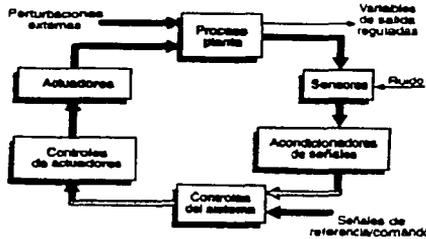


Figura 4.1 Elementos generales de un sistema de control.

4.2 Tipos de sistemas de control.

De acuerdo si la señal de control depende o no a la variable a controlar, existen dos tipos de sistemas de control:

- Control de lazo abierto.

Un sistema de control es de lazo abierto cuando la variable de salida no afecta la acción de control. En otras palabras, no se mide la salida (variable controlada) ni se realimenta para compararla con la entrada (señal de referencia). Por tanto, no utiliza sensores y a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija. Como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, el mismo no realiza eficientemente la tarea deseada.

Los sistemas de lazo abierto se denominan también no realimentados o manuales. Se utilizan en aplicaciones relativamente sencillas, donde no se requiere mucha exactitud; no hay perturbaciones internas ni externas, o existe una relación conocida entre la entrada y la salida. Un ejemplo de sistema de lazo abierto es el control de velocidad de algunos taladros. En este caso, el operario fija la velocidad deseada en un selector, mientras un circuito electrónico se encarga de regular el voltaje aplicado al motor. Puesto que la velocidad depende fuertemente de la carga, el operario debe estar atento a cualquier variación de la velocidad y corregirla con el selector sin la ayuda del sistema.

En estos sistemas la señal de salida puede distanciarse considerablemente de la deseada debido a las perturbaciones. En las figuras 4.2a y 4.2b se muestran los diagramas de control de lazo abierto.

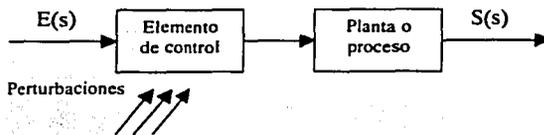


Figura 4.2a Diagramas de control de lazo abierto

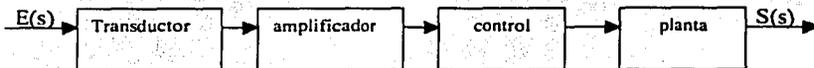


Figura 4.2b Diagramas de control de lazo abierto mas completo.

- *Control de lazo cerrado.*

Un sistema de lazo cerrado utiliza elementos adicionales para medir o sensar la variable de salida, compararla con la señal de referencia y utilizar la diferencia (señal de error) para obtener la respuesta de salida deseada. Por lo tanto, mantiene una relación preestablecida entre la salida y la entrada, y es capaz de auto-corrigerse en caso de una perturbación externa.

La señal de realimentación es producida generalmente a partir de un sensor que mide la variable de salida y la convierte en una señal adecuada para ser procesada por el controlador del sistema y comparada con la señal de referencia.

Por ello en estos sistemas las perturbaciones tienen menos incidencia sobre la variable de salida, ya que el sistema esta corrigiendo permanentemente la variable de salida en función de la especificación de entrada.

Como se puede observar en la figura 4.3 tenemos el diagrama de bloques que corresponde al control de lazo cerrado.

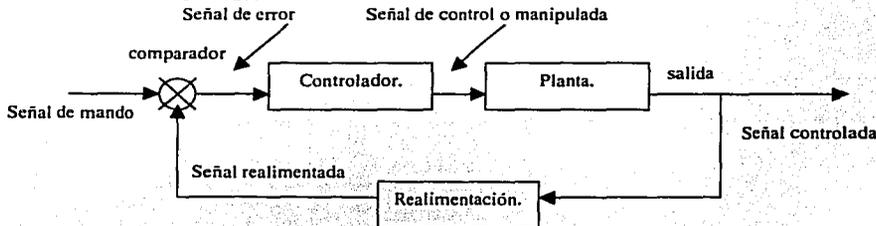


Figura 4.3 Diagrama típico en bloques de un sistema de control en lazo cerrado.

Un ejemplo de sistema de lazo cerrado es un sistema de control de temperatura de un horno eléctrico. En este caso, la temperatura del proceso se monitorea y mide mediante un sensor

apropiado (termopar, RTD, termistor, etc.), se convierte a una señal eléctrica equivalente, y se compara con una señal de referencia que representa la temperatura deseada.

Si la señal de realimentación es mayor o menor que la señal de referencia, porque la temperatura real es mayor o menor que la deseada, el controlador, a través de una interface apropiada, envía una señal al calefactor para corregir la discrepancia y conseguir que el horno trabaje a la temperatura requerida.

La realimentación puede ser positiva o negativa, dependiendo de si la señal de realimentación tiene o no la misma polaridad de la señal de comando, es decir si las dos señales se suman o restan para producir la señal de error.

La realimentación negativa, es la más utilizada en sistemas de control industriales debido a su capacidad de auto corregirse continuamente, su habilidad para seguir la señal de referencia de una manera confiable, su capacidad de reaccionar ante cambios o perturbaciones súbitas, y otros efectos benéficos importantes. El circuito de la figura 4.6, por ejemplo, utiliza realimentación de este tipo.

La realimentación positiva, por su parte, es rara vez utilizada en control industrial debido a que puede causar inestabilidad, es decir la pérdida del control de la variable de salida por parte de la señal de entrada.

4.3. Componentes de los sistemas de control.

Los transductores y captadores.

Los transductores son elementos que transforman una señal física en otra que puede ser interpretada por el sistema de control.

El captador es la parte del transductor que recibe la magnitud física que deseamos transformar. No obstante, un mismo elemento puede recibir el nombre de transductor si se encuentra en la entrada del sistema de control, y captador si se encuentra en lazo de realimentación.

Los sensores.

Los sensores de entrada actúan como los sentidos de un sistema de control, convirtiendo los parámetros a ser medidos, controlados o supervisados, en señales eléctricas equivalentes que pueden ser interpretadas por el controlador. Existen sensores para cada necesidad industrial. Podemos encontrar, para la medición de: velocidad, posición, peso, volumen, tensión, temperatura, presión, humedad, etc.

Los sensores, actuadores y controladores operan todos sobre una gran variedad de niveles y tipos de señales, a menudo incompatibles. Por tanto, deben emplearse interfaces o circuitos de acondicionamiento adecuados para convertir señales de un tipo a otro; reforzar niveles de señal de un dispositivo a otro, llevar o transmitir señales de un sitio a otro, aislar etapas entre sí, eliminar ruido, etc.

Por ejemplo, la salida de un sensor análogo debe ser previamente digitalizada para procesarla mediante una computadora digital, y la salida digital de esta última debe ser convertida a una señal análoga antes de ser aplicada al control de temperatura de un horno. Esa tarea la desempeñan los circuitos de interface y acondicionamiento de señales.

Tipos de sensores.

- *De posición.*

Nos proporcionan información sobre la presencia de un objeto, los podemos clasificar según su funcionamiento, en:

Finales de carrera. A su vez se clasifican en función del elemento captador en: de palanca, de émbolo o varilla. Son dispositivos del tipo todo o nada cuyo principio de funcionamiento es similar a un interruptor eléctrico.

Detectores de proximidad inductivos. Constan de una bobina eléctrica que puede crear un campo magnético estático o no. Al acercarse un objeto metálico a la bobina se modifica la inducción de esta por efecto de histéresis.

Detectores de proximidad capacitivos. Se basan en la variación de la capacitancia (C) que experimenta un condensador cuando modificamos la separación entre las armaduras *d*, el dieléctrico *K* o la superficie enfrentada de las armaduras *A*.

$$C = K \frac{A}{d}$$

C = Capacitancia

K = Constante de permeabilidad del dieléctrico

A = Área de las placas

D = Distancia entre las placas

Detectores de proximidad ópticos. Permiten detectar todo tipo de objetos, tanto sólidos como líquidos. Se basan en la reflexión y detección de un haz luminoso que normalmente es infrarrojo para evitar luces parásitas.

- *De desplazamiento.*

Nos proporcionan información sobre la posición relativa de un objeto. Los podemos clasificar según su funcionamiento en:

Radar. Se basa en la emisión modular de radiaciones electromagnéticas y la captación de los ecos que se producen. La distancia del objeto que refleja la radiación electromagnética queda determinada por el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción. Este sistema nos permite determinar grandes distancias.

Detectores lineales de pequeñas distancias. Están basados fundamentalmente, en un potenciómetro lineal para medir distancias rectas, o un potenciómetro angular para medir variaciones angulares.

- *De velocidad.*

Permiten medir velocidad lineal o angular de un objeto expresada en r.p.m. Su principio de funcionamiento es similar al de un dinamo.

- *De presión.*

Nos proporcionan información de la presión que está ejerciendo un fluido o un sólido sobre otro. Lo podemos clasificar según su principio de funcionamiento en:

Mecánicos. Se basan en el desplazamiento o deformación de ciertos elementos del transductor.

Electromecánicos. Como en el caso anterior, se basan en la deformación o desplazamientos de unas partes del transductor que son usadas para actuar sobre elementos eléctricos (potenciómetros, condensadores y bobinas), modificando su tensión o intensidad.

Piezoeléctricos. Están basados en la propiedad de ciertos materiales como el cuarzo que al ser sometidos a presión genera una tensión eléctrica entre sus caras proporcional a la tensión aplicada.

- **De temperatura.**

Nos proporcionan información sobre la temperatura ambiental de una objeto más o menos cercano. Los podemos clasificar según su funcionamiento en:

Dilatación. Se basan en el efecto que sufren los materiales cuando se modifica su temperatura.

Termorresistencias. Se basan en la variación de la resistencia eléctrica que experimentan los metales con la variación eléctrica.

Termistores. Se basan en la variación de la resistencia eléctrica que sufren los semiconductores como consecuencia de la temperatura. Se denominan NTC si la resistencia eléctrica disminuye al aumentar la temperatura y PTC si aumenta.

Termopares. Consisten en la unión de dos metales distintos y se basan en la generación de una fuerza electromotriz proporcional al calor aplicado en la unión.

Pirómetros de radiación. Se utilizan para medir grandes temperaturas y su principio fundamental se basa en que todo cuerpo caliente emite una radiación proporcional a la cuarta potencia de su temperatura.

Elementos actuadores.

Los actuadores o transductores de salida se comportan como los músculos del sistema de control, convirtiendo la potencia eléctrica aplicada a ellos en alguna forma de acción física. Ejemplos de actuadores son los motores, los frenos, los embragues, los relés, solenoides, las electroválvulas y las bombas. De entre todos los más usuales son:

Electroválvula. Es una válvula acondicionada eléctricamente que permite la regulación del caudal de un fluido.

Motores eléctricos. Los hay de diversos tipos, pero todos ellos transforman la energía eléctrica en mecánica. De entre todos destacamos los motores paso a paso utilizados en los sistemas de gran precisión. Estos motores transforman un impulso eléctrico en un desplazamiento angular proporcional.

Cilindros. Ampliamente utilizados en neumática e hidráulica, proporcionan un desplazamiento lineal en función de una presión y caudal de fluido determinado.

Los controles de los actuadores, como su nombre lo indica, controlan individualmente la velocidad de motores, la apertura o el cierre de válvulas, la energización o desenergización de solenoides, etc. En muchos sistemas, relativamente simples, los mismos operan como controladores del sistema, mientras que en otros, más complejos, con múltiples sensores y actuadores que controlan una gran cantidad de variables, están usualmente bajo el comando de un controlador de sistema separado.

4.4. Control de velocidad de un motor DC (PWM)

Una forma usual de variar la velocidad de un motor de corriente directa consiste en agregar en serie con éste una resistencia variable con el propósito de reducir el voltaje que le llega.

A pesar de que este tipo de control opera bien, resulta inconveniente porque la resistencia variable se queda con una porción apreciable de la potencia entregada por la fuente. Esto, no sólo hace que el sistema sea ineficiente desde el punto de vista de uso razonable de la potencia disponible, sino que obliga, además, al uso de una resistencia capacitada para resistir sin calentamiento excesivo la potencia que le toque disipar.

El circuito que aquí se propone opera bajo el principio simple de someter el motor a intervalos cortos de energización seguidos de intervalos cortos de desenergización, de forma tal que cuanto más largos sean los intervalos de energización en relación con los de desenergización, más rápido girará el motor y viceversa. Esta técnica recibe el nombre de PWM (modulación por ancho de pulso).

En la figura 4.4 se muestra la forma de onda del voltaje que se aplica al motor. El tiempo que dura la energización se denomina t_{on} o tiempo on (tiempo encendido), y al tiempo durante el cual se apaga se le conoce como t_{off} o tiempo off (tiempo apagado).

Si estos ciclos de encendido y apagado se repiten a una frecuencia dada, por ejemplo unas sesenta veces por segundo, el motor no tendrá tiempo de detenerse cuando se lo desenerge y su operación estabilizará a una velocidad que corresponda al valor promedio de la onda que recibe.

Se dice que el motor hace las veces de filtro pasabajo, y que por lo tanto reacciona al valor promedio o DC de la onda de voltaje que le llega.

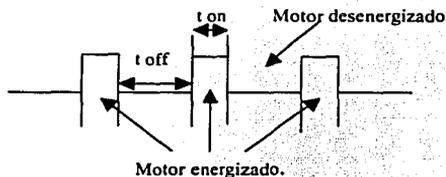


Figura 4.4 Diagrama de un tren de pulsos

4.5 Desarrollo del control del prototipo.

Para esta etapa del proyecto se trabajó en desarrollar el programa que controlaría los sistemas que se implantaron en el modelo de robot submarino, a saber, los servo-motores, las válvulas, las bombas, el motor de propulsión y cuál sería la rutina que debía de seguir el modelo. Esta rutina de trabajo se puede analizar en el diagrama de flujo que presentamos más adelante.

Para controlar los servo-motores se tuvo que programar el microcontrolador para que obtuviéramos de él tres trenes de pulsos, con la salvedad de que estos tres ciclo de trabajo fueran diferentes, respondiendo de forma independiente pero con la misma frecuencia. Por lo anterior se utilizo, para programar estos ancho de pulsos, interrupciones en tiempo real para poder tener las tres señales independientes, de las cuales sus salidas serán vía el puerto-A (específicamente PA7, PA6 Y PA5). A lo largo del programa se tienen varios ciclos de trabajo para cada servo-motor dependiendo de la tarea que le toque realizar. En el programa viene especificado, con notas, las acciones que se dan con cada una de las instrucciones.

Para el motor de propulsión se hizo algo semejante como con los servo-motores, teníamos que tener un tren de pulsos que controlara la velocidad del motor, es decir, controlar el ciclo de trabajo mediante interrupciones con el microcontrolador. Un ejemplo de cómo calculamos la frecuencia con la que puede trabajar el motor de propulsión y del cual nos basamos en los siguientes datos técnicos es la tabla 4.1:

MOTOR	SERVOMOTORES
BATERIA 7.2 [V]	Modelo: S3003
RPM: 25.605 [rpm]	Velocidad: 0.23[s] en 60°
Potencia MAX. 106.2 [W]	Torque: 3.2 [Kg/cm]
Potencia PROM. 68.3 [W]	Medidas: 40.4 * 19.8 * 36 [mm]
Eficiencia Max: 60.5%	Peso: 37.2 [g]
Eficiencia PROM: 40.1%	

Tabla 4.1 Datos técnicos

Como el periodo entre interrupciones es de 100 μ s, se obtiene el número de ciclos por segundo requerido y se tiene lo siguiente:

Debido a que las características del motor nos da RPM nominal de 25605 rpm.

$$Rpm=25605 \quad \frac{25605rpm}{60s} = 426.75Hz \quad \frac{1}{426.75Hz} = 2.34329ms$$

Para saber el número de interrupciones que son necesarias para generar la señal deseada, en este caso de 2.4038ms se hizo lo siguiente:

$$\frac{2.34329ms}{100\mu s} = 23.432923$$

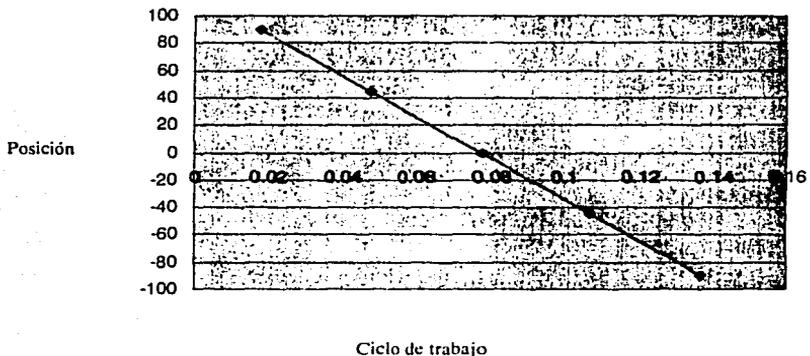
Este número nos indica el número de interrupciones que pueden entrar en el periodo señalado, se toma la parte entera por conveniencia del problema.

Lo último es transformar el número 23, en base diez, a su equivalente en hexadecimal siendo 17_{Hex}, recordemos que la programación del microcontrolador se hace en lenguaje ensamblador.

Para las señales de control de los servomotores se hicieron pruebas para obtener el ciclo de trabajo al que funcionan a 50 Hz, estas pruebas están registradas y graficadas en la tabla 4.1 y gráfica 4.1:

Posición	$t_{\text{ano}} + t_{\text{par}}^{\text{ano}}$	$t_{\text{par}}^{\text{ano}}$	t_{ano}	Ciclo de trabajo
-90	0.0168	0.0145	0.0023	0.136904762
-45	0.0168	0.015	0.0018	0.107142857
0	0.0168	0.0155	0.0013	0.077380952
45	0.0168	0.016	0.0008	0.047619048
90	0.0168	0.0165	0.0003	0.017857143

Tabla 4.1 Funcionamiento del sevomotor

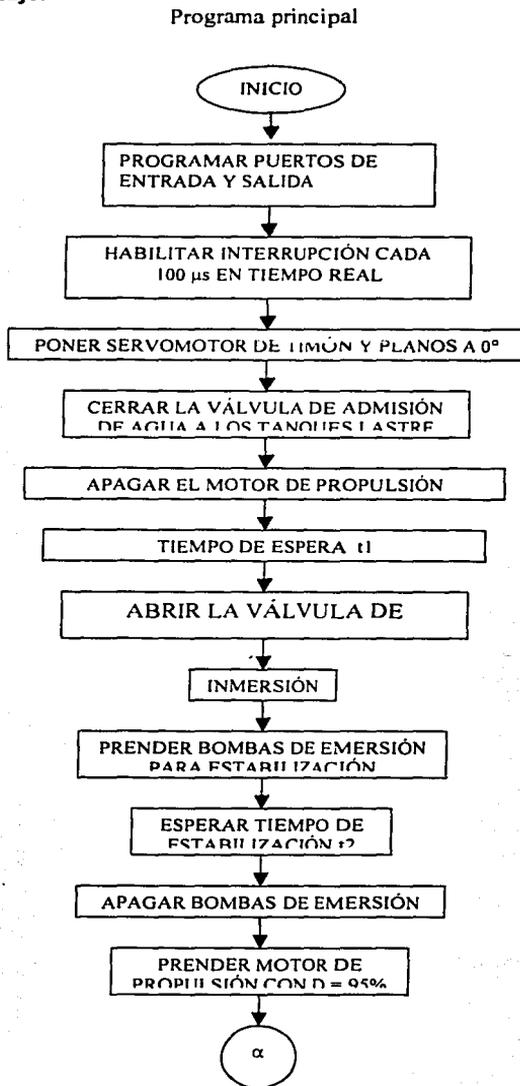


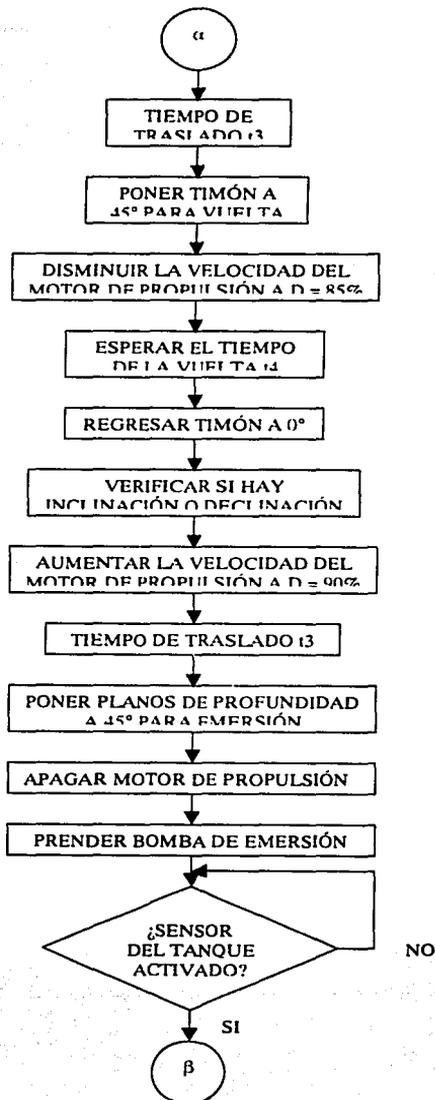
Gráfica 4.1 Posicion e grados vs. Ciclo de trabajo

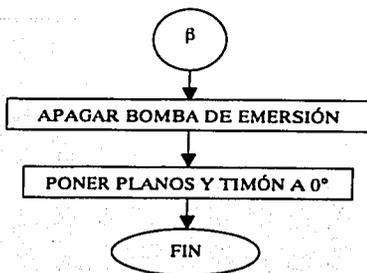
Para las señales de control para las bombas, simplemente es poner un nivel alto y para apagarlas de manera semejante pero un nivel bajo. En el diagrama de flujo se puede apreciar las etapas de trabajo del prototipo, cuándo se tienen que presentar cada tren de pulsos con sus respectivos ciclos de trabajo, cuándo cerrar la válvula de paso, cuándo iniciar la inmersión y emersión según sea el caso, etc.

Como se mencionó en capítulos anteriores se utilizó el programa PUMA_11, desarrollado por el M.I. Antonio Salvá Calleja, el cual es fácil de utilizar y el que se acoplaba perfectamente al microcontrolador, ya que fue diseñado precisamente para ser utilizado por la tarjeta de evaluación FACIL_11, diseñada también por el maestro.

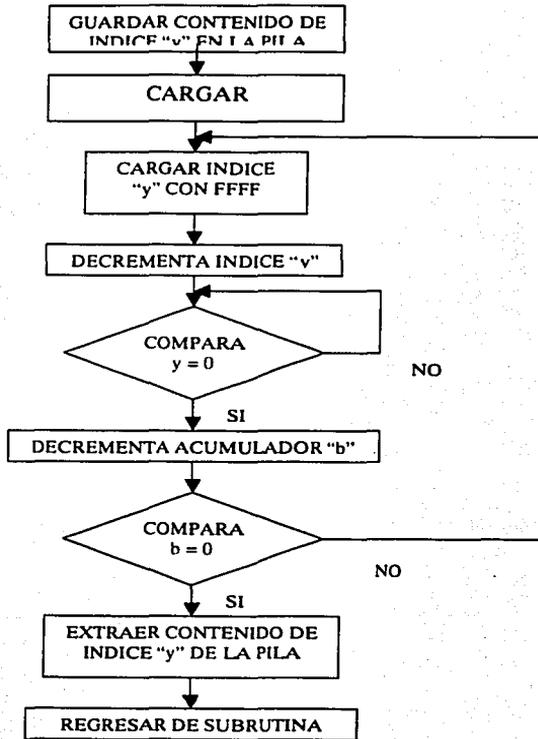
4.6 Diagrama de flujo.



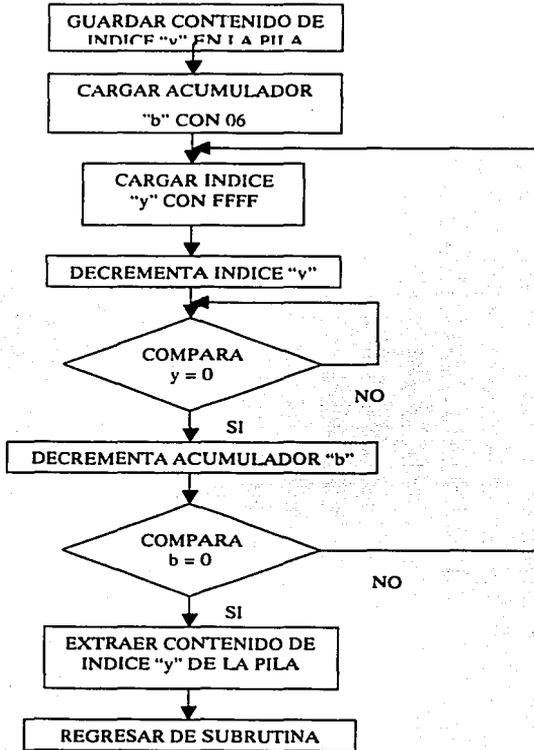




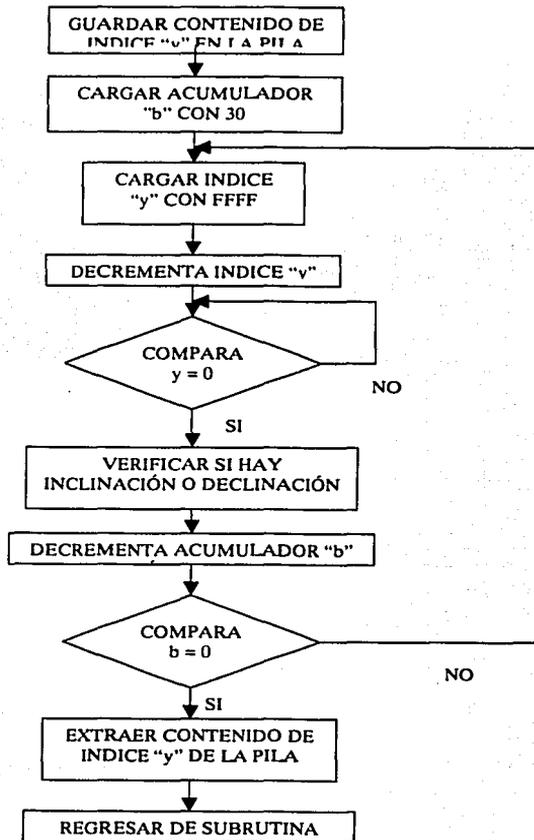
Subrutina de tiempo de espera t1



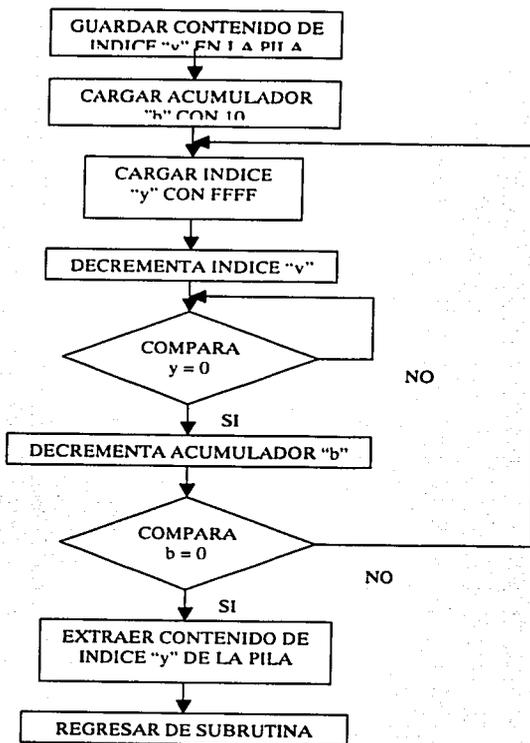
Subrutina de tiempo de espera t2



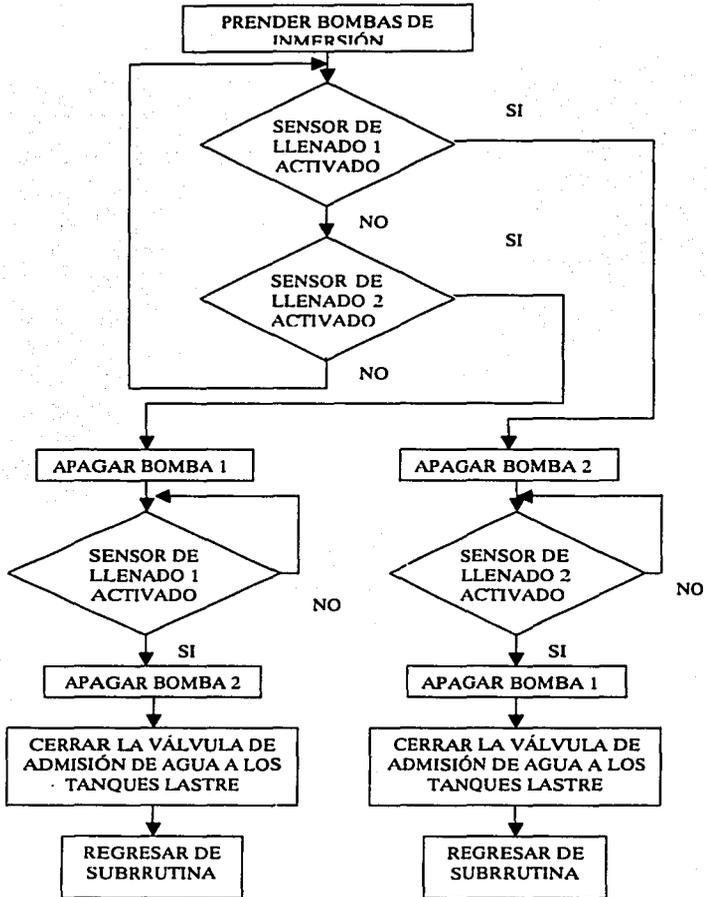
Subrutina de tiempo de espera t3



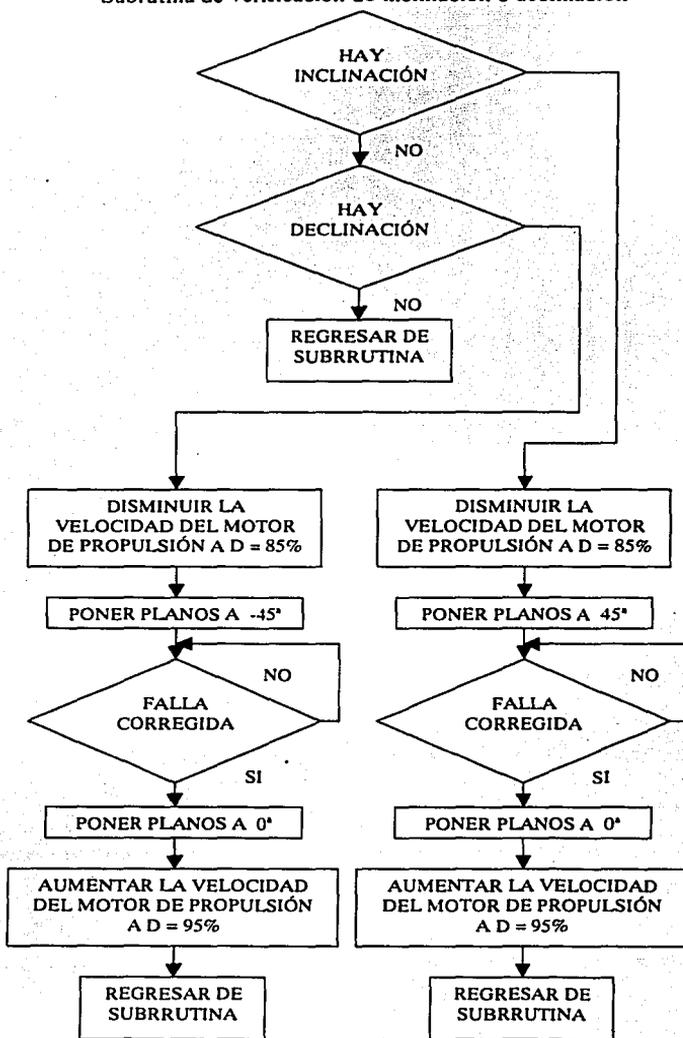
Subrutina de tiempo de espera t4



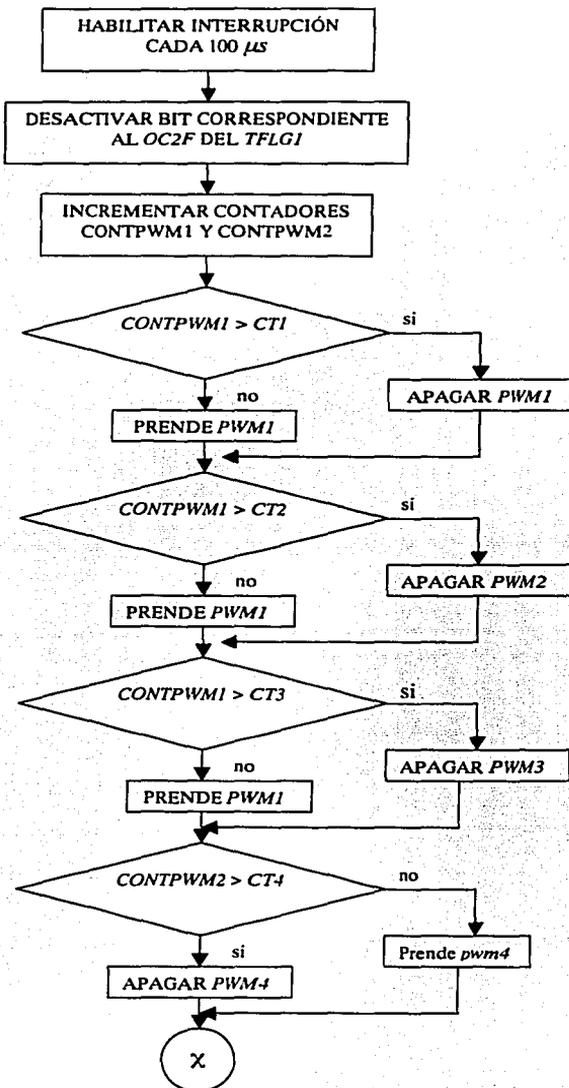
Subrutina de inmersión

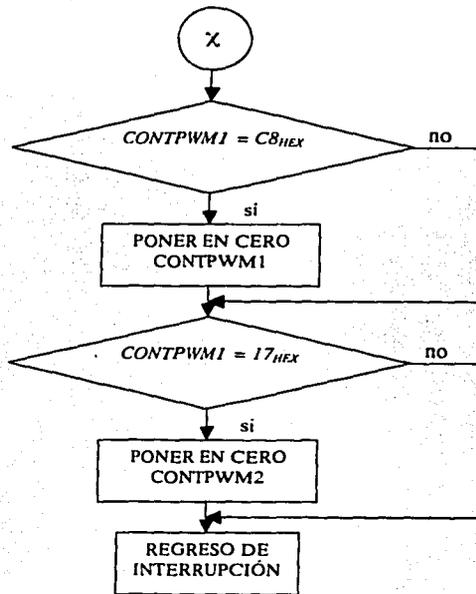


Subrutina de verificación de inclinación o declinación



Rutina de interrupción.





ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

4.7 Listado de Programa.

El programa que se realizó en base al diagrama de flujo anterior es el siguiente:

```

dirbp equ $1000
dir equ $1800
port equ $80
porta equ $00
contpwm1 equ $0300
contpwm2 equ $0301
ct1 equ $0302      ; control de servo de timon
ct2 equ $0303      ; control de servo de planos de profundidad
ct3 equ $0304      ; control de servo de acceso de agua
ct4 equ $0305      ; control de velocidad de motor de propulsion
tope equ $c8
top2 equ $17
offset equ $00c8

    org $8000
    ldaa #$ff
    staa $1001
    ldx #dirbp
    bclr porta.x,$ef
    ldaa #$7e
    staa $dc        ; fuente de interrupción para el comparador de salida 2
    ldx #serv_oc2
    stx $dd
    clr contpwm1    ; borra contador
    clr contpwm2    ; borra contador 2
    ldaa #$40
    staa $1022      ; activa bit correspondiente al OC2F del TMSK1
    staa $1023      ; activa bit correspondiente al OC2I del TFLG1

    cli            ; se habilita la interrupcion

    ldy #dir
    ldx #dirbp
    ldaa #$0b
    staa ct1        ; ct1 para D=5.5% en pwm1 0 grados
    staa ct2        ; ct2 para D=5.5% en pwm2 0 grados
    ldaa #$02
    staa ct3        ; ct3 para D=5.5% en pwm3 90 grados
    ldaa #$00
    staa ct4        ; mantiene apagada la propela
    jsr tiempo1
    ldaa #$0b
    staa ct3        ; ct3 para D=5.5% en pwm3 0 grados

```

```

jsr inner
bset porta,x,$04 ; prende bombas de emersion
jsr tiempo2 ; salta a subrutina de tiempo de X segundos
bclr porta,x,$04 ; apaga bombas de emersion
ldaa #$14
staa ct4 ; ct4 para D=95% en pwm4
jsr tiempo3 ; salta a subrutina de tiempo de X segundos
ldaa #$06
staa ct1 ; ct1 para D=3.1% en pwm1 45 grados
ldaa #$13
staa ct4 ; ct4 para D=85% en pwm4
jsr tiempo4
ldaa #$0b
staa ct1 ; ct1 para D=5.5% en pwm1 0grados
jsr chec
ldaa #$14
staa ct4 ; ct4 para D=95% en pwm4
jsr tiempo3 ; salta a subrutina de tiempo de X segundos
ldaa #$06
staa ct2 ; ct2 para D=3.1% en pwm1 45 grados
ldaa #$00
staa ct4
bset porta,x,$04 ; prende bombas de emersion
espe brset port,y,$20,espe ; espera hasta que el sensor de tanques se active
bclr porta,x,$04 ; apaga bombas de emersion
ldaa #$0b
staa ct1 ; ct1 para D=5.5% en pwm1 0grados
staa ct2 ; ct2 para D=5.5% en pwm2 0grados
fin bra fin

```

```

tiempo1: pshy
ldab #$0f
t2 ldy #$ffff
t1 nop
dey
bne t1
decb
bne t2
puly
rts

```

```

tiempo2: pshy
ldab #$06
t4 ldy #$ffff
t3 nop
dey

```

```
bne t3
decb
bne t4
puly
rts
```

```
tiempo3: pshy
          ldab #$30
t6        ldy #$ffff
t5        nop
          dey
          bne t5
          jsr chec
          decb
          bne t6
          puly
          rts
```

```
tiempo4: pshy
          ldab #$10
t8        ldy #$ffff
t7        nop
          dey
          bne t7
          decb
          bne t8
          puly
          rts
```

```
inner:   bset porta,x,$03
cont:    brset port,y,$80,bomb1
         brset port,y,$40,bomb2
         bra cont
```

```
bomb1:   bclr porta,x,$01
com:     brclr port,y,$40,com
         bclr porta,x,$02
         ldaa #$02
         staa ct3
         rts
```

```
bomb2:   bclr porta,x,$02
cot      brclr port,y,$80,cot
         bclr porta,x,$01
         ldaa #$02
         staa ct3
         rts
```

```
chec:   ldy #dir
```

```
brset port,y,$01,cor1 ; pregunta si existe picada hacia adelante
brset port,y,$02,cor2 ; pregunta si existe picada hacia atrás
rts
```

```
cor1: ldaa #$13
      staa ct4      ; ct4 para D=85% en pwm4
      ldaa #$06
      staa ct2      ; coloca los planos de profundidad a 45°
rep   brset port,y,$01,rep ; pregunta si ya se corrigió la falla
      ldaa #$14      ; ct4 para D=95% en pwm4
      staa ct4
      ldaa #$0b
      staa ct2      ; coloca los planos de profundidad a 0°
      rts
```

```
cor2  ldaa #$13
      staa ct4      ; ct4 para D=85% en pwm4
      ldaa #$10
      staa ct2      ; coloca los planos de profundidad a -45°
ret   brset port,y,$02,ret ; pregunta si ya se corrigió la falla
      ldaa #$14      ; ct4 para D=95% en pwm4
      staa ct4
      ldaa #$0b
      staa ct2      ; coloca los planos de profundidad a 0°
      rts
```

```
serv_oc2: ldd $1018 ;
          addd #offset
          std $1018
          ldaa #$40
          staa $1023 ; desactiva el bit correspondiente al OC2F del TFLG1
          ldy #dir
          inc contpwm1
          inc contpwm2
          ldx #dirbp
          ldaa contpwm1
          cmpa ct1
          bhi pwm1_1
          bset porta,x,$80
          bra pwm2
pwm1_1: bclr porta,x,$80
pwm2:  cmpa ct2
          bhi pwm2_1
          bset porta,x,$40
          bra pwm3
pwm2_1: bclr porta,x,$40
```

```
pwm3:  cmpa ct3
        bhi pwm3_1
        bset porta,x,$20
        bra pwm4
pwm3_1: bclr porta,x,$20
pwm4:  ldab contpwm2
        cmpb ct4
        bhi pwm4_1
        bclr porta,x,$10
        bra comtop
pwm4_1: bset porta,x,$10

comtop: cmpa #tope
        bne comtop2
        clr contpwm1

comtop2: cmpb #top2
        bne saleint
        clr contpwm2
saleint: rti
```

RESULTADOS

Pruebas estáticas..

Las pruebas estáticas de nuestro modelo se realizaron en el laboratorio de transductores y actuadores, ubicado en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. La primera prueba que se realizó fue con respecto al volumen desplazado de agua, dentro de una tina de vidrio, el modelo solo estaba sellado de la parte frontal y trasera, sin ningún circuito electrónico ni los tanques lastre en su interior. Su finalidad de esta prueba solo fue para calcular el peso que se debía agregar al modelo para su inmersión (volumen desplazado por el modelo).

Una vez que se tuvo todo el diseño de los circuitos de potencia, el programa en ensamblador y los circuitos de control, se analizó cada tapa por separado corriendo el programa en ensamblador desde la computadora. Con esto pudimos observar y corregir todos los contratiempos y fallas que tuvimos al diseñar cada etapa, una vez que se tuvo cada etapa en funcionamiento se decidió probar todo por completo.

El programa respondió satisfactoriamente a cada una de la etapas, se midió cada señal proveniente del microcontrolador, los diferentes anchos de pulsos, sus ciclos de trabajo, los niveles altos de algunos puertos y el tiempo que se le dio a cada rutina.

El siguiente paso fue sellar el modelo de la parte trasera y frontal, con todo incorporado en su interior. Se hizo la primera prueba dinámica dentro de la alberca de Ciudad Universitaria y observamos que el peso que se agregó fue excedido para el modelo, por lo cual se empezó a hundir lentamente sin llegar a la estabilidad, que fue lo que calculamos teóricamente. Por lo tanto quedan hacer algunas modificaciones respecto al peso del modelo para poder compensar la fuerza de flotación.

Con esto las pruebas finales se realizarán una vez que se haya modificado el peso del modelo y lo que queda con la investigación y desarrollo del prototipo es seguir con el proyecto, que es el objetivo, y tratar de conseguir más de lo que hasta ahora pudimos desarrollar con nuestra investigación, esperando que sirva de mucho para apoyo a la investigación y desarrollo de alumnos que necesiten y requieran de desarrollar modelos o proyectos como este.

CONCLUSIONES

A lo largo del diseño del prototipo de robot submarino se tuvieron varios contratiempos como se esperaban, debido a que, sobre todo en la parte mecánica, no teníamos el suficiente material didáctico e información para la construcción de un modelo en base a nuestras necesidades, de acuerdo a los modelos de submarinos para investigación existentes.

Pero estos contratiempos, lejos de afectar al diseño del proyecto, por el contrario nos ayudaron a nuestra formación como Ingenieros. Además de reafirmar que para un proyecto se involucran, directa o indirectamente, diferentes áreas y especialidades de la ingeniería con un fin en común. En nuestro caso se observó perfectamente este ejemplo, tuvimos que conocer más acerca de modelos mecánicos, materiales, etc. para poder obtener el prototipo final y él que mejor se acoplara al objetivo propuesto y a nuestras necesidades.

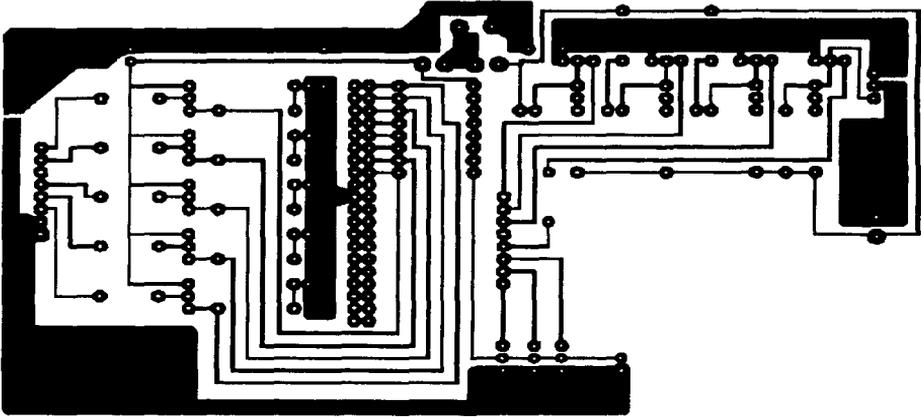
Con respecto a la parte de control y electrónica se aplicaron a la perfección los conocimientos básicos vistos a lo largo de la carrera, de hecho, fue menor el tiempo empleado a estas partes del proyecto en comparación con la parte mecánica.

Por lo anterior, es indispensable estar abierto a todo tipo de conocimientos para tener una mejor formación profesional y una visión más amplia de las nuevas tecnologías que se van presentando, ya que es uno de los propósitos primordiales de estudiar un licenciatura como es la Ingeniería en cualquiera de sus especialidades.

Por lo tanto el objetivo planteado al principio del trabajo de tesis se cumplió de manera correcta, abarcando los puntos esenciales del diseño del prototipo de robot submarino autónomo. Además de que puede servir como apoyo a la investigación y de apoyo didáctico a los alumnos de Licenciatura, Maestría o Doctorado que estén interesados en el tema. De hecho este proyecto se planeó con esa finalidad, de tener continuidad y mejorar lo que hasta el momento hemos hecho, para que tenga un mejor aprovechamiento el cualquier ámbito que sea requerido, en especial a la investigación.

APÉNDICES.

CIRCUITO IMPRESO DEL PROTOTIPO



1

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

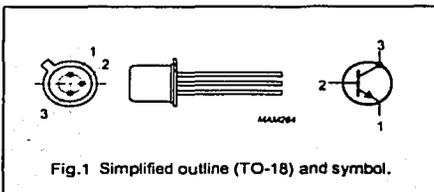


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	—	60	V
	2N2222 2N2222A		—	75	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base	—	30	V
	2N2222 2N2222A		—	40	V
I_C	collector current (DC)		—	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	—	500	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	—	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	—	—	
	2N2222 2N2222A		250 300	—	MHz MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}; I_{Bon} = 15\text{ mA}; I_{Boff} = -15\text{ mA}$	—	250	ns

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CB0}	collector-base voltage	open emitter	-	60	V
	2N2222			75	V
V _{CEO}	collector-emitter voltage	open base	-	30	V
	2N2222			40	V
V _{EB0}	emitter-base voltage	open collector	-	5	V
	2N2222			6	V
I _C	collector current (DC)		-	800	mA
I _{CM}	peak collector current		-	800	mA
I _{BM}	peak base current		-	200	mA
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	-	500	mW
		T _{case} ≤ 25 °C	-	1.2	W
T _{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T _j	junction temperature		-	200	°C
T _{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
R _{th(j-a)}	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
R _{th(j-c)}	thermal resistance from junction to case		146	K/W

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

CHARACTERISTICS

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222	$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222A	$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}; \text{note 1}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	100	300	
h_{FE}	DC current gain 2N2222A	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^\circ\text{C}$	35	–	
h_{FE}	DC current gain 2N2222 2N2222A	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	30	–	
			40	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	400	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.6	V
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2.6	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_C = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
C_e	emitter capacitance 2N2222A	$I_C = I_E = 0; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
F	noise figure 2N2222A	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	4	dB

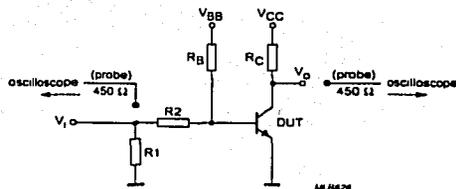
NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Switching times (between 10% and 90% levels); see Fig.2					
t_{on}	turn-on time	$I_{Con} = 150 \text{ mA}; I_{Bon} = 15 \text{ mA}; I_{Boff} = -15 \text{ mA}$	-	35	ns
t_d	delay time		-	10	ns
t_r	rise time		-	25	ns
t_{off}	turn-off time		-	250	ns
t_s	storage time		-	200	ns
t_f	fall time		-	60	ns

Note

1. Pulse test: $t_p \leq 300 \mu\text{s}$; $\delta \leq 0.02$.



$V = 9.5 \text{ V}; T = 500 \mu\text{s}; t_p = 10 \mu\text{s}; t_r = t_f \leq 3 \text{ ns}$
 $R_1 = 68 \Omega; R_2 = 325 \Omega; R_B = 325 \Omega; R_C = 160 \Omega$
 $V_{BB} = -3.5 \text{ V}; V_{CC} = 29.5 \text{ V}$
 Oscilloscope input impedance $Z_i = 50 \Omega$

Fig.2 Test circuit for switching times.

Complementary Silicon Plastic Power Transistors

... designed for use in general purpose amplifier and switching applications.

- Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 1.5 \text{ Vdc (Max) @ } I_C$
 $= 6.0 \text{ Adc}$
- Collector-Emitter Sustaining Voltage —
 $V_{CEO(sus)} = 60 \text{ Vdc (Min) — TIP41A, TIP42A}$
 $= 80 \text{ Vdc (Min) — TIP41B, TIP42B}$
 $= 100 \text{ Vdc (Min) — TIP41C, TIP42C}$
- High Current Gain — Bandwidth Product
 $f_T = 3.0 \text{ Mhz (Min) @ } I_C$
 $= 500 \text{ mAdc}$
- Compact TO-220 AB Package

*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP41A TIP42A	TIP41B TIP42B	TIP41C TIP42C	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	80	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	80	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	I_C	6 10			Adc
Base Current	I_B	2.0			Adc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52			Watts W/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			Watts W/°C
Unclamped Inductive Load Energy (1)	E	62.5			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	°C/W

(1) $I_C = 2.5 \text{ A}$, $L = 20 \text{ mH}$, $P.R.F. = 10 \text{ Hz}$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $R_{BE} = 100 \Omega$

Preferred devices are ON Semiconductor recommended choices for future use and best overall value.

NPN
TIP41A
TIP41B*
TIP41C*
PNP
TIP42A
TIP42B*
TIP42C*

*ON Semiconductor Preferred Device

6 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY
SILICON
60-80-100 VOLTS
65 WATTS



CASE 221A-09
TO-220AB

TIP41A TIP41B TIP41C TIP42A TIP42B TIP42C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS				
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 30\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	$V_{CE(sus)}$	60 80 100	— — — Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP41C TIP42B, TIP42C	I_{CEO}	— — —	0.7 0.7 0.7 mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$) ($V_{CE} = 100\text{ Vdc}$, $V_{EB} = 0$)	TIP41A, TIP42A TIP41B, TIP42B TIP41C, TIP42C	I_{CES}	— — —	400 400 400 μAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EB0}	—	1.0 mAdc
ON CHARACTERISTICS (1)				
DC Current Gain ($I_C = 0.3\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)		h_{FE}	30 15	— 75 —
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 6.0\text{ Adc}$, $I_B = 600\text{ mAdc}$)		$V_{CE(sat)}$	—	1.5 Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 6.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$)		$V_{BE(on)}$	—	2.0 Vdc
DYNAMIC CHARACTERISTICS				
Current-Gain — Bandwidth Product ($I_C = 500\text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f_{test} = 1.0\text{ MHz}$)		f_T	3.0	— MHz
Small-Signal Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 10\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ kHz}$)		h_{fe}	20	— —

(1) Pulse Test Pulse Width $\leq 300\ \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

TIP41A TIP41B TIP41C TIP42A TIP42B TIP42C

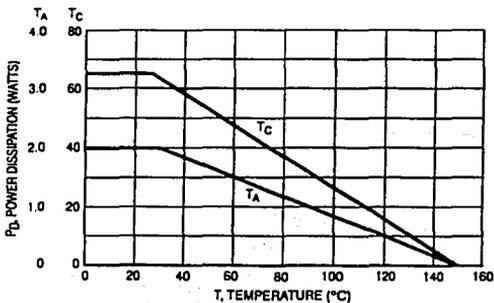


Figure 1. Power Derating

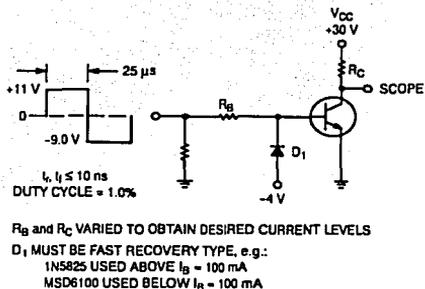


Figure 2. Switching Time Test Circuit

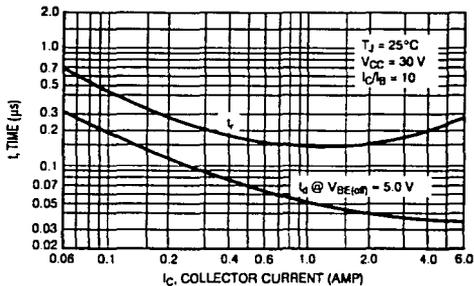


Figure 3. Turn-On Time

TIP41A TIP41B TIP41C TIP42A TIP42B TIP42C

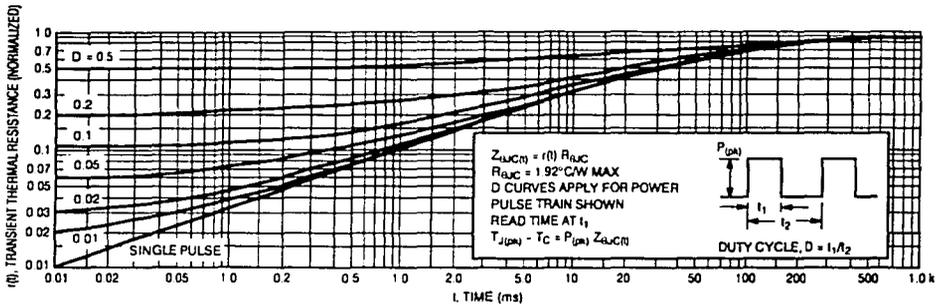


Figure 4. Thermal Response

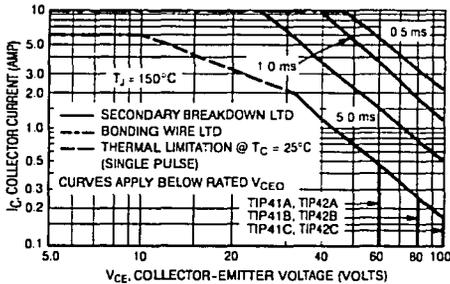


Figure 5. Active-Region Safe Operating Area

There are two limitations on the power handling ability of a transistor: average junction temperature and second breakdown. Safe operating area curves indicate I_C - V_{CE} limits of the transistor that must be observed for reliable operation; i.e., the transistor must not be subjected to greater dissipation than the curves indicate.

The data of Figure 5 is based on T_{J(pk)} = 150°C; T_C is variable depending on conditions. Second breakdown pulse limits are valid for duty cycles to 10% provided T_{J(pk)} ≤ 150°C. T_{J(pk)} may be calculated from the data in Figure 4. At high case temperatures, thermal limitations will reduce the power that can be handled to values less than the limitations imposed by second breakdown.

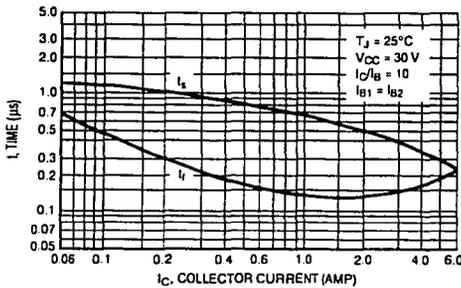


Figure 6. Turn-Off Time

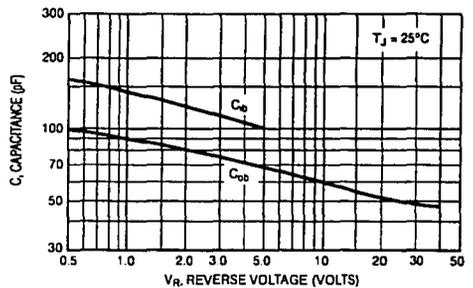


Figure 7. Capacitance

TIP41A TIP41B TIP41C TIP42A TIP42B TIP42C

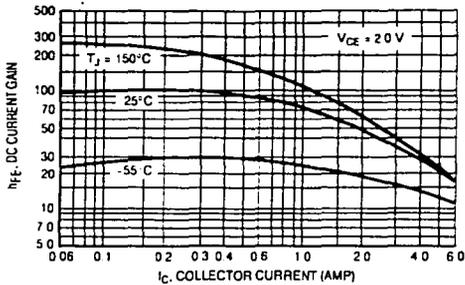


Figure 8. DC Current Gain

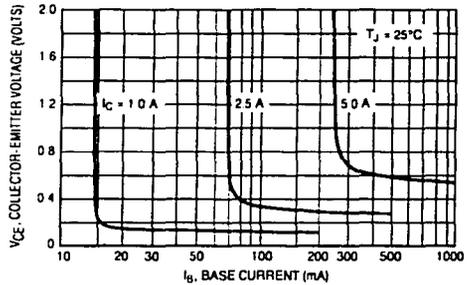


Figure 9. Collector Saturation Region

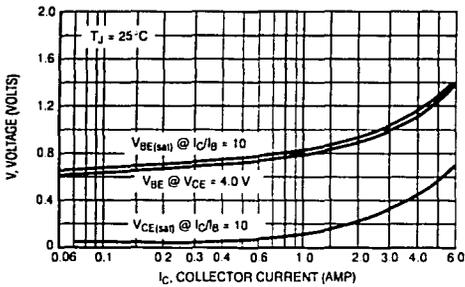


Figure 10. "On" Voltages

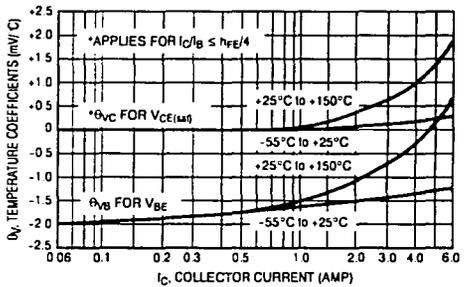


Figure 11. Temperature Coefficients

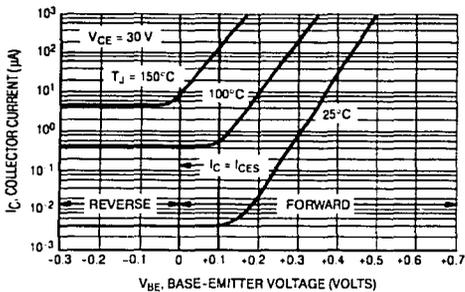


Figure 12. Collector Cut-Off Region

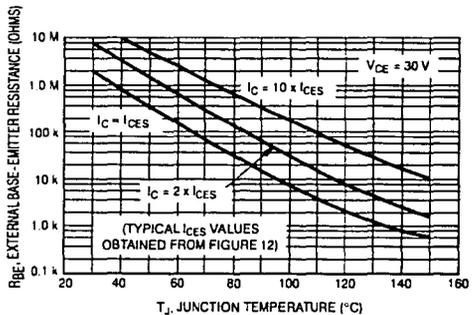


Figure 13. Effects of Base-Emitter Resistance

Bibliografía

F. Bueche. Fundamentos de Física. Segunda edición en español. Ed. McGraw – Hill.

Vincent del Toro. Fundamentos de Ingeniería Eléctrica. Segunda Edición. Ed. Prentice Hall.

Albert Paul Malvino. Principios de Electrónica. Sexta Edición. Ed. McGraw – Hill.

Katsuhiko Ogata. Dinámica de Sistemas. Ed. Prentice Hall.

Katsuhiko Ogata. Control. Ed. Prentice Hall.

Referencia al Centro de Gravedad y Centro Geométrico:

Russell C. Hibbeler. "Mecánica para Ingenieros", Estática. Sexta Edición. Cap. 9. P.p. 424-428
Ed. Cia. Editorial Continental.

Robert L. Boylestad. Análisis introductorio de Circuitos. 8ª edición. Ed. Prentice Hall.

Direcciones Web consultadas.

<http://www.geocities.com/jhonrodri/control.html>

<http://galeon.hispavista.com/neurodis/Control/ComCtrl.htm>

http://www.control-automatico.net/recursos/articulos/PID_analogo/Index.htm

<http://www.steamcontrol.com/teoriasamson.htm>

<http://www.creaturoides.com/srvesp.html>

http://dec1.wi-inf.uni-essen.de/~astephan/FIRC2000/s_2.html

<http://turing.gsi.dit.upm.es/~amarreo/itl/instrumentos.html>

http://www.robotstore.com/download/Vector2X_Manual.pdf

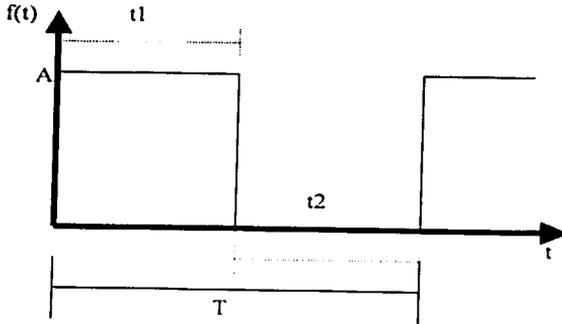
<http://www.uoguelph.ca/~antoon/gadgets/servo1.htm>

<http://www.cablessoft.com.ar/camne/>

http://www.mil.ufl.edu/imdl/papers/IMDL_Report_Fall_98/Eric_Anderson/Submergency.pdf

<http://e-www.motorola.com/collateral/MOTORPACPWRTUT.html>

Referencias



$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

donde:

V_{prom} = Voltaje Promedio

T = Periodo de la Señal.

t_1 = Tiempo en nivel alto de la Señal.

t_2 = Tiempo en nivel bajo de la Señal.

A = Amplitud de la Señal.

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} f(t) dt + \int_{t_1}^T f(t) dt \right]$$

$$V_{prom} = \frac{1}{T} \left[\int_0^{t_1} A dt + \int_{t_1}^T 0 dt \right]$$

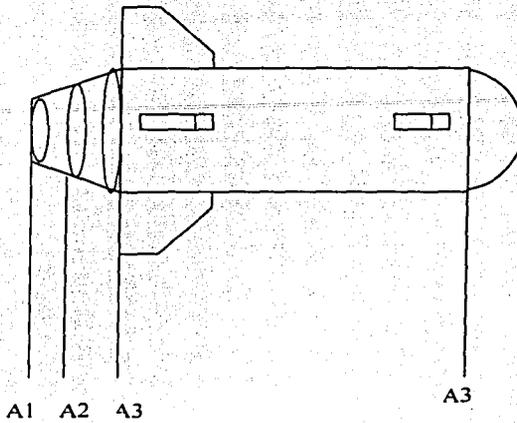
$$V_{prom} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} A dt = \frac{A}{T} t \Big|_0^{t_1}$$

$$V_{prom} = A \frac{t_1}{T}$$

$$D = \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

D = Ciclo de Trabajo de la Señal.

$$V_{prom} = A(D)$$



V_1 = Volumen de Sección Trasera.

V_2 = Volumen del Casco del Submarino = Volumen del Cilindro

V_3 = Volumen de la parte Frontal de la Burbuja de Acrílico = A la mitad del Volumen de una Esfera.

A_1 = Área de la sección circular inferior del Plato de Plástico.

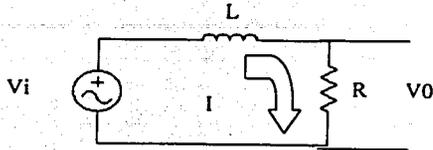
A_2 = Área de la sección circular superior del Plato de Plástico.

A_3 = Área de la sección circular del Tubo de PVC.

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{tot} = \int_{A_1}^{A_2} h dA + \int_{A_2}^{A_3} h dA + \pi r^2 h + \frac{1}{2} \pi r^3$$

$$V_{tot} = h[A_2 - A_1] + h[A_3 - A_2] + \pi r^2 h + \frac{1}{2} \pi r^3$$



Circuito Equivalente del Motor de D.C.

$$V_i = V_L + V_R$$

$$V_L = Z_L I$$

$$Z_L = j\omega L$$

$$V_R = RI = V_0$$

$$I = \frac{V_0}{R}$$

$$V_i = (j\omega L)I + RI$$

$$S = j\omega$$

$$V_i = I(SL + R)$$

$$V_i = \frac{V_0}{R} (SL + R) = \frac{V_0}{R} L \left(\frac{R}{L} + S \right)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R}{L \left(\frac{R}{L} + S \right)}$$

$$\lim_{s \rightarrow 0} \frac{V_0}{V_i} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\frac{R}{L}}{\left(\frac{R}{L} + S \right)} = \frac{\frac{R}{L}}{\frac{R}{L}} = 1$$

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \frac{V_0}{V_i} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\frac{R}{L}}{\left(\frac{R}{L} + S \right)} = \frac{\frac{R}{L}}{S} = 0$$

\therefore F.P.B.

**ESPECIFICACIONES DE
CONFIGURACIÓN DE MAPAS DE
MEMORIA Y PUERTOS DE LA
TARJETA FACIL_11**

Por: Antonio Salvá Calleja

Julio de 2001

MAPAS DE MEMORIA CON LOS QUE PUEDE OPERAR LA CMT FACIL_11

La CMT FACIL_11 puede operar con diferentes mapas de memoria; cuando la misma opera en modo single-chip o boot-strap, los mapas correspondientes son los naturales del microcontrolador 68HC11F1, al operar el mismo en los modos mencionados, véanse las Figuras 2.1 y 2.2.

SFFFF	EEPROM interna 512 Bytes
SFE00 SFDFF	
SC000 S13FFF	Vectores de Reset e Interrupciones
SBFC0 SBFBF SBF59 SBF58	Programa Boot Loader
SBF00 SBEFF	
\$1060 \$105F	Bloque de Registros de programación y control de periféricos. (96 Bytes)
\$1000 \$0FFF	
\$0400 \$03FF	Pila (STACK)
\$03E0 \$03DF	Zona de RAM interna para usuario
\$0100 \$00FF	Zona empleada por el medio ambiente PUMMA.
\$0000	

Figura 2.1.- Mapa de memoria de la CMT FACIL_11 operando en modo Boot-Strap.

SFFFF	Vectores de Reset e Interrupción
SFFC0 SFFBF	Firmware de enlace con el programa manejador PUMMA (FWSP2SAX.BLM donde X es igual a 1 o 2)
SFF00 SFDFF	
\$1060 \$105F	Bloque de Registros de programación y control de periféricos. (96 Bytes)
\$1000 \$0FFF	
\$0400 \$03FF	Pila (STACK)
\$03E0 \$03DF	Zona de RAM interna para usuario
\$0100 \$00FF	Zona empleada por el medio ambiente PUMMA.
\$0000	

Figura 2.2.- Mapa de memoria de la CMT FACIL_11 operando en modo Single-Chip.

MAPAS DE MEMORIA DE LA CMT FACIL_11 OPERANDO EN MODO EXPANDIDO

Para la operación en modo expandido pueden configurarse dos mapas de memoria denominados como Mapa EA y Mapa EB; para que la tarjeta opere en expandido en forma transparente para el usuario, cuando el mismo emplea como herramienta al software PUMMA_11, el registro CONFIG (dir \$103F) del microcontrolador deberá contener "unos" en los cuatro bits más significativos, esto para que el origen de la EEPROM sea la dirección \$103F al operar en modo expandido; un byte típico a programar en CONFIG es FF, si el usuario emplea facilidades del microcontrolador tales como el *watch dog* alguno(s) de los bits menos significativos de CONFIG deberán ser cero, para más detalles acerca del registro aquí mencionado puede consultarse el manual de referencia del

HC11 editado por **MOTOROLA**. Dado que el registro aquí mencionado es una localidad de tipo EEPROM, para cargar un byte en el mismo se puede emplear un comando de **PUMMA_11** que programe bytes individuales en la EEPROM considerando que la dirección asociada es la \$103F.

Para cada uno de los mapas de memoria, EA y EB, del modo expandido deberá haber cargado firmware asociado con los mismos a partir de la dirección SFE00, que será el origen de la EEPROM en el modo expandido; esto permite operar el modo expandido sin memoria EPROM, desarrollando las aplicaciones en forma ágil en memoria RAM.

Los pasos a seguir para configurar la tarjeta **FACIL_11**, de modo que la misma ejecute una aplicación en forma autónoma desde la memoria EPROM, pueden verse más adelante en el tema "EJECUCIÓN AUTÓNOMA DESDE EPROM".

A continuación se describen las características generales, así como la forma en que se configuran los mapas EA y EB.

Mapa EA

Para este mapa se tiene el siguiente perfil: Operación en modo expandido con 8k de RAM externa, 1k de RAM interna, 7.5k de EPROM y 0.5k de EEPROM interna con el firmware **FWFCLEA** residente. Para configurar este mapa se deben colocar los siguientes puentes: **J7, J12, J14, J16 y J20**; además de que el archivo **FWFCLEA2.BLM** deberá haber sido programado en la EEPROM interna a partir de su origen (SFE00); el contenido del intervalo de vectores de RESET e interrupciones es el siguiente:

El vector de RESET principal apunta al origen de la EEPROM interna y todos los demás vectores de RESET e interrupción apuntan a direcciones de la página cero, siendo éstas las mismas que las que corresponden a los vectores asociados con el modo boot-strap, lo anterior permite al usuario trabajar con el concepto de pseudovector de interrupción al programar sus aplicaciones en modo expandido; en la Figura 2.3 se aprecia el mapa de memoria EA; los requerimientos en cuanto a chips de memoria para este mapa son: RAM estática de 8k (6264 ó equivalente) en la base correspondiente, EPROM de 8k (27C64) en su respectiva base.

Mapa EB

Para este mapa se tiene el siguiente perfil: Operación en modo expandido con 28.90625k de RAM externa (29600 bytes), 1k de RAM interna, 31.5k de EPROM y .5k de EEPROM interna con el firmware **FWFCLEB** residente. Para configurar este mapa se deben colocar los siguientes puentes: **J7, J13, J14, J16 y J19**; además de que el archivo **FWFCLEB2.BLM** deberá haber sido programado en la EEPROM interna a partir de su origen (SFE00); el contenido del intervalo de vectores de RESET e interrupciones es el siguiente:

El vector de RESET principal apunta al origen de la EEPROM interna y todos los demás vectores de RESET e interrupción apuntan a direcciones de la página cero, siendo éstas las mismas que las que corresponden a los vectores asociados con el modo boot-strap, lo anterior permite al usuario trabajar con el concepto de pseudovector de interrupción al programar sus aplicaciones en modo expandido; en la Figura 2.4 se aprecia el mapa de memoria EB; los requerimientos en cuanto a chips de memoria para este mapa son: RAM

estática de 32k (62256 ó equivalente) en la base correspondiente, EPROM de 32k (27C256) en su respectiva base.

La tabla 2.1 resume la configuración de puentes asociada con los mapas EA y EB aquí descritos.

Mapa	Puentes en CMT FACIL_11	Firmware Residente
EA	J7, J12, J14, J16 y J20	FWFCLEA
EB	J7, J13, J14, J16 y J19	FWFCLEB

Tabla 2.1 Configuración de puentes y firmware residente para los mapas de memoria de la CMT FACIL_11.

EJECUCIÓN AUTÓNOMA DESDE EPROM

Una vez que el usuario ha desarrollado el código asociado con una aplicación, probando y depurando el mismo en RAM, empleando para ello al software PUMMA_11 y a la tarjeta FACIL_11, si lo desea puede hacer que el software desarrollado se ejecute de manera autónoma desde la memoria EPROM, para lograr esto se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1.- Cambiar la dirección de origen del código a la que corresponda con el origen de la EPROM (SE000 para el mapa EA y S8000 para el mapa EB).
- 2.- Generar, empleando algún ensamblador, el archivo S19 correspondiente.
- 3.- Programar la memoria EPROM a usar con el archivo S19 generado en el paso anterior.
- 4.- Con la EPROM en su base colocar el puente J11.

De esta forma, siempre que esté el puente J11 colocado al dar RESET en modo expandido el firmware residente hará que el código presente a partir del origen de la EPROM sea ejecutado. En la tabla 2.2 se resumen los accionamientos llevados a cabo por la tarjeta FACIL_11 después de un RESET, esto para los modos boot-strap, singlechip y expandido.

Modo de Operación	Puente colocado entre las terminales Tx y Rx de FACIL_11	Puente no colocado entre las terminales Tx y Rx de FACIL_11	Puente J11 colocado	Puente J11 no colocado
Boot-Strap	Se genera un salto al origen de la EEPROM interna	Se pasa a firmware de recepción de un programa a colocarse en la página cero.	-----	-----
Single Chip	Posibilidad no permitida.	-----	Se genera salto a la dirección SFEA0	Se pasa a ejecutar firmware compatible con el manejador PUMMA.
Expandido	Posibilidad no permitida.	-----	Se genera salto al origen de la EPROM externa.	Se pasa a ejecutar firmware compatible con el manejador PUMMA.

TABLA 2.2 Acciones al restablecer (RESET) la tarjeta FACIL_11

SFFFF	Vectores de Reset e Interrupción
SFFC0 SFFBF	Zona de EEPROM interna para usuario
SFEA0 SFE9F	Firmware de enlace con manejador PUMMA EEPROM interna (FWFCLEA2.BLM)
SFE00 SFDFF	EPR0M externa para usuario.
SE000 SDFFF	RAM externa para usuario.
SC000 SBFFF	
S3000 S1FFF	Submapa alternativo de Puertos
S1C00 S1BFF	Submapa de Puertos
S1800 S17FF	
S1060 S105F	Registros de control y programación de periféricos.
S1000 S0FFF	
S0400 S03FF	Pila (Stack)
S03E0 S03DF	Zona de RAM interna para usuario
S0100 S00FF	Zona empleada por el medio ambiente PUMMA
S 0000	

Figura 2.3 mapa de memoria EA de la CMT FACIL_11 operando en modo expandido

SFFFF	Vectores de Reset e Interrupción
SFFC0 SFFBF	Zona de EEPROM interna para usuario
SFEA0 SFE9F	Firmware de enlace con manejador PUMMA EEPROM interna (FWFCLEB2.BLM)
SFE00 SFDFF	EPROM externa para usuario.
\$8000 \$7FFF	RAM externa para usuario
\$2000 \$1FFF	Submapa alternativo de Puertos
\$1C00 \$1BFF	Submapa de Puertos
\$1800 \$17FF	RAM externa para usuario
\$1060 \$105F	Registros de control y programación de periféricos.
\$1000 \$0FFF	RAM externa para usuario
\$0400 \$03FF	Pila (Stack)
\$03E0 \$03DF	Zona de RAM interna para usuario
\$0100 \$00FF	Zona empleada por el medio ambiente PUMMA
\$ 0000	

Figura 2.4 mapa de memoria EB de la CMT FACIL_11 operando en modo expandido

SUBMAPA DE PUERTOS

El submapa de puertos está definido en un intervalo de 1k (de la dirección \$1800 a la \$1BFF) dividido en ocho subintervalos de 128 direcciones cada uno, al invocar una dirección de puerto en un subintervalo determinado se verifica en nivel bajo una de ocho líneas de habilitación de puerto, en la Tabla 2.3 se detalla el submapa de puertos.

SUBMAPA DE PUERTOS ALTERNO

En todos los mapas de memoria aquí descritos se aprecia la existencia de un submapa de puertos alterno, definido en un intervalo de 1k (direcciones de la \$1C00 a la \$1FFF), si el usuario lo requiriera podría conectar un 74HC138 externo que generaría en sus ocho líneas de salida, habilitaciones de puerto asociadas cada una de ellas con sendos subintervalos de 128 direcciones cada uno, en la Figura 2.5 se muestra como hacer esto, así como también los subintervalos que verificarían cada línea de habilitación; en la práctica se ha visto que con las líneas de habilitación propias del submapa de puertos normal (direcciones de la \$1800 a la 1BFF) pueden conectarse, mediante lógica de enlace, diversos puertos externos a la CMT FACIL_11.

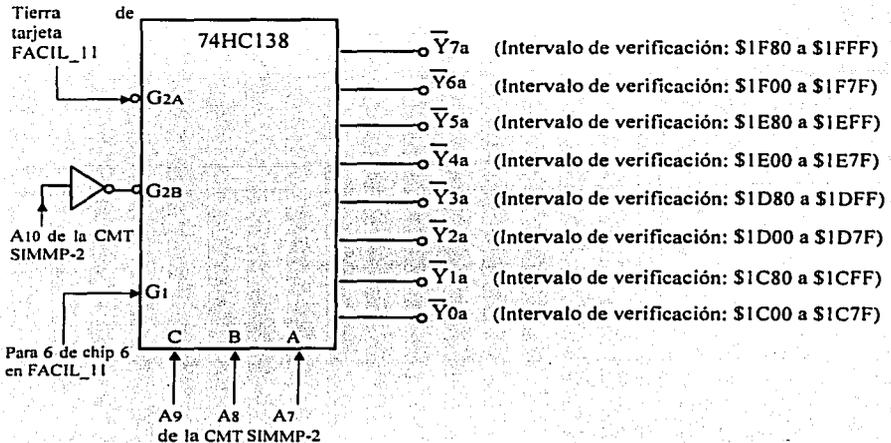


Figura 2.5.- Conexión de un decodificador 74HCS138 externo para validar el submapa de puertos alterno con ocho subintervalos de verificación.

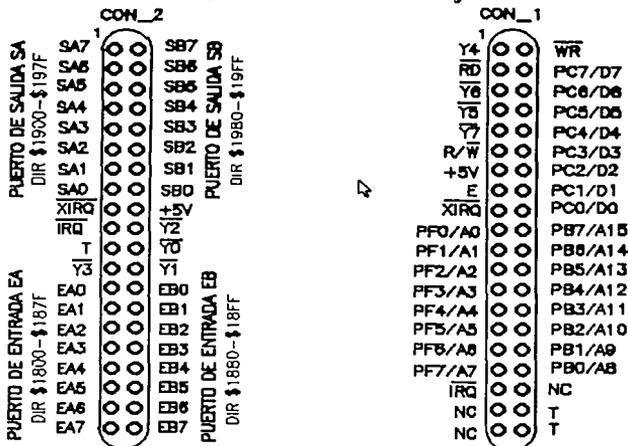
TABLA 2.3 DETALLE DEL SUBMAPA DE PUERTOS DE LA TARJETA FACIL_11

INTERVALO DE DIRECCIONES	USO EN TARJETA FACIL_11	LÍNEA DE HABILITACIÓN ASOCIADA
S1800-S187F	Habilitación de puerto de entrada EA	$\bar{Y}0$
S1880-S18FF	Habilitación de puerto de entrada EB	$\bar{Y}1$
S1900-S197F	Habilitación de puerto de salida SA	$\bar{Y}2$
S1980-S19FF	Habilitación de puerto de salida SB	$\bar{Y}3$
S1A00-S1A7F	Habilitación de LCD (modo expandido)	Y4
S1A80-S1AFF	Disponible para usuario	$\bar{Y}5$
S1B00-S1B7F	Disponible para usuario	$\bar{Y}6$
S1B80-S1BFF	Disponible para usuario	$\bar{Y}7$

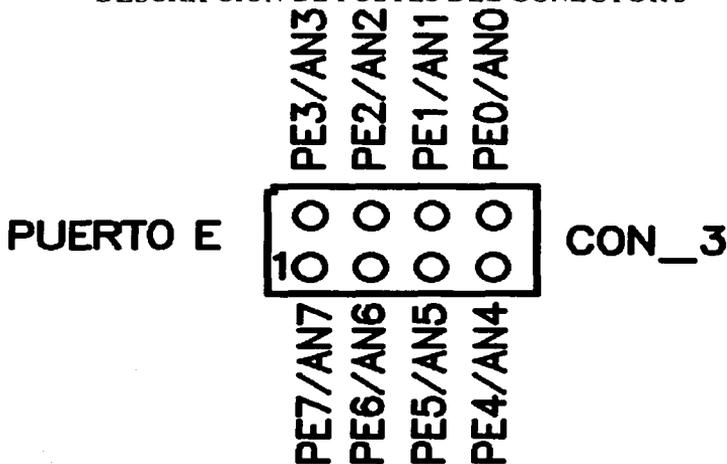
Cabe señalar aquí, que aún cuando las ocho líneas de habilitación de puerto descritas en la tabla 2.3, están presentes en postes de los conectores uno y dos de la tarjeta FACIL_11, el usuario deberá tener cuidado de emplear únicamente las disponibles para él indicadas en la tabla anterior, de lo contrario se podrían originar colisiones lógicas entre los puertos presentes en la tarjeta y los que el usuario colocara empleando alguna o algunas de las líneas de habilitación; sin embargo, el que alguno de los puertos no estuviera presente libera la línea de habilitación correspondiente; por ejemplo, en una tarjeta FACIL_11 que no tuviera conectado un desplegado en el conector cuatro, además de no tener colocado el chip doce (puerto de entrada EA), estarían disponibles para el usuario las líneas de habilitación Y0 (negada) y Y4.

DESCRIPCIÓN DE POSTES EN LOS CONECTORES 1 y 2 DE LA TARJETA FACIL_11

Por: Antonio Salvá Calleja



DESCRIPCIÓN DE POSTES DEL CONECTOR 3



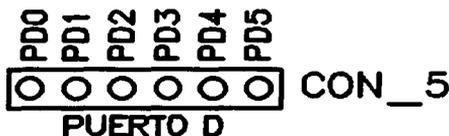
DESCRIPCIÓN DE POSTES DEL CONECTOR 4

INTERFAZ DE LCD

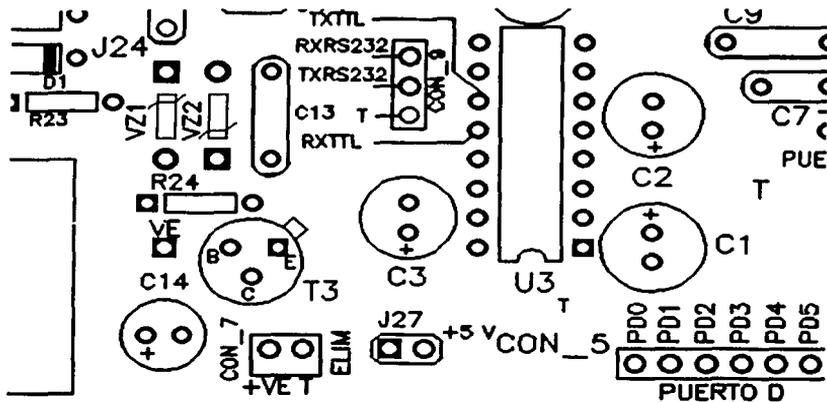


POSTE	LÍNEA ASOCIADA CON TARJETA FACIL_11 Y/O LCD
1	TIERRA (T)
2	+5V
3	V ₀ (AJUSTE DE CONTRASTE LCD), CONECTADO A PIN CENTRAL DE POT2
4	RS (LCD), CONECTADO A PIN PF0/A0 DEL MCU 68HC11F1
5	CONTROL DE LECTURA ESCRITURA DEL LCD, CONECTADO A: TIERRA SI J28 ESTÁ COLOCADO, O A EL PIN R/W SI J29 ESTÁ COLOCADO
6	HABILITACIÓN DEL LCD E ₀ , CONECTADO A: PBI DEL MCU SI J26 ESTA COLOCADO, O A LÍNEA DE PAGINACIÓN DE PUERTO Y4 (DIR \$1A00 - \$1A7F) SI J27 ESTÁ COLOCADO
7	D0 LCD, PC0/D0 DEL MCU 68HC11F1
8	D1 LCD, PC1/D1 DEL MCU 68HC11F1
9	D2 LCD, PC2/D2 DEL MCU 68HC11F1
10	D3 LCD, PC3/D3 DEL MCU 68HC11F1
11	D4 LCD, PC4/D4 DEL MCU 68HC11F1
12	D5 LCD, PC5/D5 DEL MCU 68HC11F1
13	D6 LCD, PC6/D6 DEL MCU 68HC11F1
14	D7 LCD, PC7/D7 DEL MCU 68HC11F1
15	ANODO LED DE ILUMINACIÓN DEL LCD, CONECTADO A +5V
16	CÁTODO LED DE ILUMINACIÓN DEL LCD, CONECTADO A R27 DE TARJETA FACIL_11 (EL OTRO EXTREMO DE R27 ESTÁ CONECTADO A TIERRA)

DESCRIPCIÓN DE POSTES SE LOS CONECTORES 5 Y 6



DESCRIPCIÓN DE POSTES Y UBICACIÓN DE LOS CONECTORES 7 Y 9



Notas importantes si la tarjeta FACIL_11 se energiza por el conector 7 (CON_7)

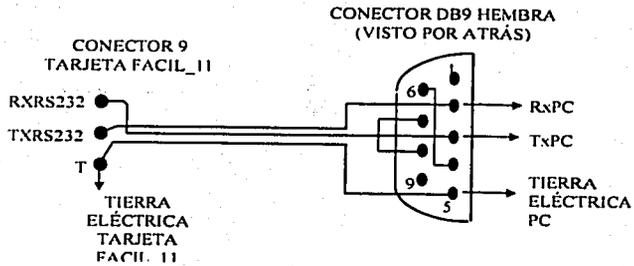
- 1.- La polarización podrá hacerse desde una fuente de laboratorio o bien desde un eliminador de batería; las terminales positiva y negativa del eliminador o fuente, deberán respectivamente conectarse a las terminales +VE y T del conector mencionado, el invertir esta polaridad podría originar daños irreversibles en componentes de la tarjeta.
- 2.- El jumper J27 deberá estar colocado.
- 3.- El voltaje aplicado Vap en el conector 7 deberá ser mayor o igual a 7 volts y menor que 20 volts.
- 4.- Para operar el programador de EPROM's integrado en la tarjeta la cota inferior de Vap deberá ser 14 volts, preferentemente aplicar este valor cuando se grave una EPROM.
- 5.- La tensión aplicada al conector 7 puede verificarse conectando un volmetro entre el poste de prueba VE y tierra, ver figura inmediata superior.

DESCRIPCIÓN DE POSTES Y UBICACIÓN DEL CONECTOR 8

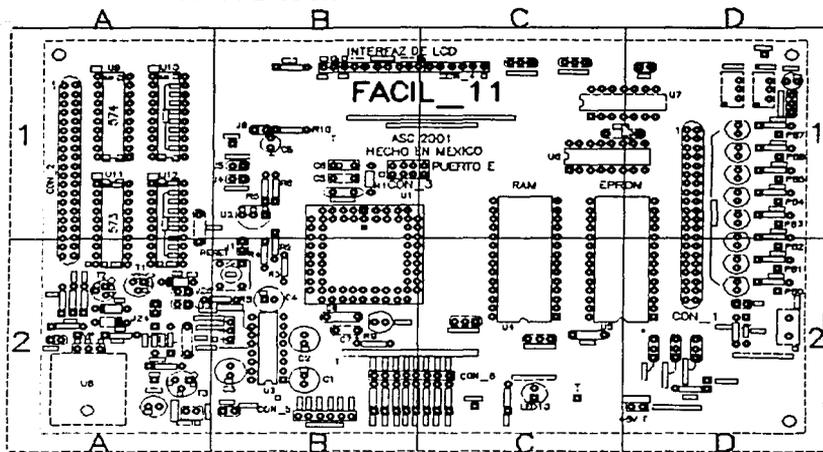


Nota: Si la tarjeta FACIL_11 se energiza por el conector 8 esto deberá hacerse desde una fuente de 5 volts respetando la polaridad indicada, en caso de invertirse la polaridad podrían originarse daños irreversibles a la tarjeta; además el jumper J27 no deberá estar colocado.

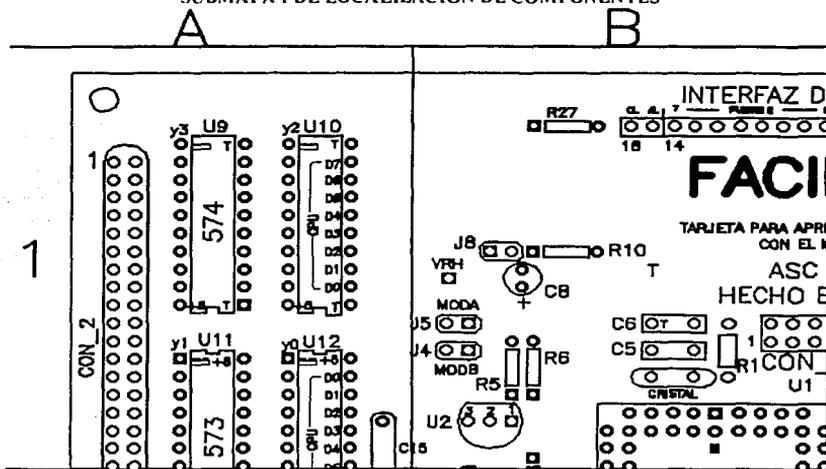
**DETALLE DEL CONEXIONADO DEL CABLE RS232 PARA ENLAZAR LA
TARJETA FACIL_11 CON OTRA COMPUTADORA**



MAPA DE LOCALIZACIÓN DE COMPONENTES



SUBMAPA I DE LOCALIZACIÓN DE COMPONENTES



SUBMAPA 4 DE LOCALIZACIÓN DE COMPONENTES

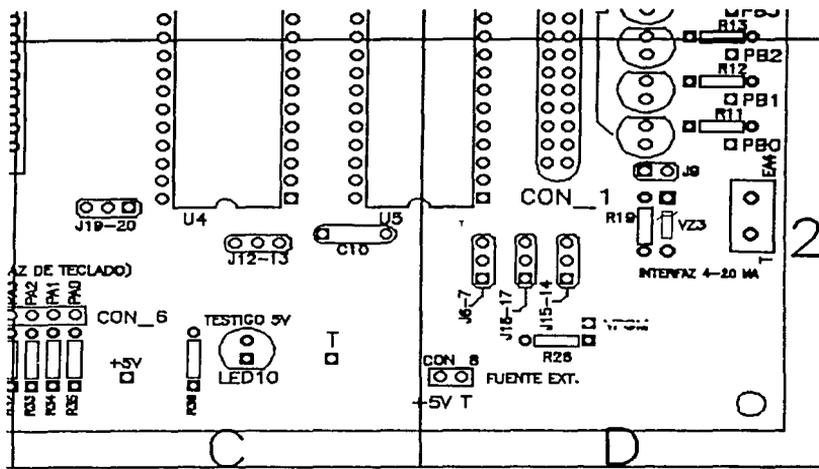


TABLA 1. LOCALIZACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS

NUMERO DE CI	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA DE LOCALIZACIÓN
CI 1 68HC11F1	B1	1
CI 2 MC34064	B1	1
CI 3 MAX232	B2	3
CI 4 RAM 6264 ó 62256	C2	4
CI 5 EPROM 27C64 ó 27C256	C2	4
CI 6 74HC138	C1	2
CI 7 74HC00	D1	2
CI 8 7805	A2	3
CI 9 74HC574	A1	1
CI 10 74HC574	A1	1
CI 11 74HC573	A1	1
CI 12 74HC573	A1	1

TABLA 2. LOCALIZACIÓN DE CONECTORES

CONECTOR	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
1 (2x20)	D2	4
2 (2x20)	A1	1
3 (2x4)	B1	1
4 (1x16)	C1	2
5 (1x6)	B2	3
6 (1x8)	C2	4
7 (1x2)	A2	3
MOLEX O EQUIV. 8 (1x2)	C2	4
MOLEX O EQUIV. 9 (1x3)	B2	3
MOLEX O EQUIV.		

TABLA 3. LOCALIZACIÓN DE CAPACITORES

CAPACITOR (valor)	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
C1 (1 μ F 16V)	B2	3
C2 (1 μ F 16V)	B2	3
C3 (1 μ F 16V)	B2	3
C4 (1 μ F 16V)	B2	3
C5 (18 a 22 pF)	B1	1
C6 (18 a 22 pF)	B1	1
C7 (10 μ F 16V)	B2	3
C8 (1 μ F 16V)	B1	1
C9 (0.1 μ F)	B2	3
C10 (.01 μ F)	C2	4
C11 (.01 μ F)	C1	2
C12 (10 μ F 16V)	D1	2
C13 (0.1 μ F)	A2	3
C14 (47 μ F 16V)	A2	3
C15 (.01 μ F)	A1	1

TABLA 4. LOCALIZACIÓN DE POSTES DE PRUEBA

POSTE	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
+5V	C2	4
T	C2	4
Vcal	D1	2
VE	A2	3
Vp	A2	3
Vp _{gm}	D2	4
VRH	B1	1
PB7, PB6, PB5, PB4, PB3	D1	2
PB2, PB1, PB0	D2	4

TABLA 5. LOCALIZACIÓN DE BLOQUE DE CONTACTOS DOBLE

BLOQUE DE CONTACTOS DOBLE	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
BLOQUE1 (entrada interlaz 4-20 mA)	D2	4

TABLA 6. LOCALIZACIÓN DE RESISTENCIAS

RESISTENCIA (valor)	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
R1 (10M Ω 5 %)	B1	1
R2 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R3 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R4 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R5 (4.7 K Ω 5 %)	B1	1
R6 (4.7 K Ω 5 %)	B1	1
R8 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R9 (1.2 K Ω 5 %)	B2	3
R10 (1 K Ω 5 %)	B1	1
R11 (1.2 K Ω 5 %)	D2	4
R12 (1.2 K Ω 5 %)	D2	4
R13 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R14 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R15 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R16 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R17 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R18 (1.2 K Ω 5 %)	D1	2
R19 (249 Ω 1 %)	D2	4
R20 (4.7 K Ω 5 %)	A2	3
R21 (1 K Ω 5 %)	A2	3
R22 (1 K Ω 5 %)	A2	3
R23 (1 K Ω 5 %)	A2	3
R24 (27 K Ω 5 %)	A2	3
R25 (3.9 K Ω 5 %)	A2	3
R26 (2.2 K Ω 5 %)	D2	4
R27 (15 Ω 5 %)	B1	1
R28 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R29 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R30 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R31 (4.7 K Ω 5 %)	B2	3
R32 (4.7 K Ω 5 %)	C2	4
R33 (4.7 K Ω 5 %)	C2	4
R34 (4.7 K Ω 5 %)	C2	4
R35 (4.7 K Ω 5 %)	C2	4
R36 (1.2 K Ω 5 %)	C2	4
R37 (10K Ω 5 %)	C2	4
POT1 (TRIMPOT VERTICAL DE 20 K Ω)	D1	4
POT2 (TRIMPOT VERTICAL DE 20 K Ω)	D1	4

TABLA 7. LOCALIZACIÓN DE PUENTES (JUMPERS)

PUENTE (JUMPER)	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
J1	B2	3
J4	B1	1
J5	B1	1
J6	D2	4
J7	D2	4
J8	B1	1
J9	D2	4
J11	A2	3
J12	C2	4
J13	C2	4
J14	D2	4
J15	D2	4
J16	D2	4
J17	D2	4
J19	C2	4
J20	C2	4
J21	D1	2
J22	D1	2
J23	D1	2
J24	A2	3
J25	A2	3
J26	A2	3
J27	B2	3
J28	C1	2
J29	C1	2
J26' *	C1	2
J27' *	C1	2

* Los puentes (jumpers) J26' y J27', ubicados en el cuadrante superior derecho, aparecen en la mascarilla de respaldo de componentes de la tarjeta FACIL_11 como J26-27, y no como debería ser correcto (J26'-27'), es importante no confundirlos con los puentes J26 y J27 situados en el cuadrante inferior izquierdo de la tarjeta.

Nota: No existen los puentes J2, J3, J10 y J18.

TABLA 8. LOCALIZACIÓN DE LEDS

LED	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
1 (testigo pumma, amarillo)	B2	3
2 (testigo PB7, naranja)	D1	2
3 (testigo PB6, naranja)	D1	2
4 (testigo PB5, naranja)	D1	2
5 (testigo PB4, naranja)	D1	2
6 (testigo PB3, naranja)	D1	2
7 (testigo PB2, naranja)	D2	4
8 (testigo PB1, naranja)	D2	4
9 (testigo PB0, naranja)	D2	4
10 (testigo +5V, rojo)	C1	4

TABLA 9. LOCALIZACIÓN DE CRISTAL, BOTÓN DE RESET Y COMPONENTES SEMICONDUCTORES DISCRETOS

COMPONENTE	LOCALIZACIÓN	SUBMAPA
BOTON NORMALMENTE ABIERTO (pushboton)	B2	3
CRISTAL (8 MHz)	B1	1
TRANSISTOR T1 (2N2222A)	A2	3
TRANSISTOR T2 (2N2222A)	A2	3
TRANSISTOR T3 (2N2222A)	A2	3
VZ1 (zener 6.8 V ¼ 0 1 W)	A2	3
VZ2 (zener 6.8 V ¼ 0 1 W)	A2	3
VZ3 (zener 5.1 V 1 W)	D2	4
D1 (diodo 1n914)	A2	3
D2 (diodo 1n914)	A2	3
D3 (diodo 1n914)	A2	3