



CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

ESPECIALIDAD DE TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA

**“Desarrollo de una tarjeta electrónica para
controlar los movimientos de un brazo hidráulico
de 5 grados de libertad”**

**Informe de la Práctica de Entrenamiento
Industrial**

Nombre de la Empresa o Institución:

**CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL
(CIDEI)**

Presenta:

Estudiante: Ing. Sergio Arturo Rivera Patlán

Tutor Académico: Dr. Luciano Nava Balanzar

Tutor de planta: M. en I. Juan Pablo Orozco Muñiz



Querétaro, Qro. Diciembre del 2018

Índice

Capítulo 1.- Introducción	4
1.1.- Planteamiento del problema	5
1.2.- Justificación	5
1.3.- Objetivo general.....	6
1.4.- Objetivos específicos	6
1.5.- Alcances	7
Capítulo 2.- Marco Teórico	8
2.1.- ROV Lynx	8
2.1.1.- Sistemas TMS.....	9
2.1.2.- Sistema de video en alta definición	11
2.1.3.- Unidad de control de superficie	13
2.1.4.- Medidor de espesor ultrasónico	14
2.1.5.- Herramientas y accesorios adicionales.....	14
2.1.6.- Especificaciones técnicas del ROV Lynx	16
2.2.- Estándar RS-485	16
2.2.1.- Características mecánicas	17
2.2.2.- Características eléctricas	17
2.3.- Robots industriales o manipuladores	18
2.3.1.- Definiciones de robots industriales	18
2.3.2.- Estructura de los robots industriales	19
2.3.3.- Manipuladores en robótica submarina.....	21
Capítulo 3.- Metodología	23
3.1.- Desarrollo del circuito electrónico	25

3.1.1.- Elementos de entrada	26
3.1.2.- Microcontrolador	28
3.1.3.- Comunicación por protocolo RS-485	29
3.1.4.- Circuito transmisor	30
3.1.5.- Etapa de potencia	31
3.2.- Construcción del módulo transmisor.	35
3.3.- Construcción del módulo receptor	38
3.3.1.- Tarjeta electrónica para etapa de potencia.....	38
Capítulo 4.- Resultados	50
Conclusiones	52
Bibliografía	53
Anexos	54
Anexo A	54
Anexo B	57
Anexo C	59

Capítulo 1.- Introducción

A lo largo de los últimos años, el conocimiento científico de los mares profundos y el estudio de los suelos marinos, ha crecido rápidamente mediante el uso de una variedad de tecnologías. En un principio las exploraciones científicas, se llevaban a cabo mediante vehículos submarinos ocupados por humanos. Sin embargo, recientemente, el desarrollo de nuevas tecnologías y mecanismos han permitido la implementación de robots submarinos que han comenzado a revolucionar la exploración del fondo marino, ofreciendo mejor información, menores riesgos y costos considerablemente menores.

Un ejemplo de esto, es el robot submarino ROV Lynx 1117 de la UNAM con el cual se ha estado trabajando recientemente en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI). Este vehículo submarino es muy versátil y tiene la capacidad de llevar a cabo diversas tareas relacionadas con estudios, búsquedas e inspecciones en océanos y mares.

Una de las principales tareas pensadas para este robot, consiste en la recolección y análisis de muestras del suelo marino, para lo cual se desarrolló e implemento un sistema adicional que incluye un brazo manipulador capaz de recolectar muestras y depositarlas en un compartimiento para su posterior análisis. Dicho sistema, podrá ser operado en tierra por un usuario a través de un control remoto, el cual se comunicará con el submarino a través de un cable umbilical.

El presente reporte, contiene el desarrollo de un sistema de comunicación que emule el sistema de control utilizado por el sistema comercial de manipuladores utilizado en este tipo de vehículos, para la activación de un sistema hidráulico que acciona un manipulador para desempeñar tareas de intervención, considerando para ello el control de los movimientos base de un manipulador comercial de 5 grados de libertad denominado EH5 de la compañía Hydrolek de Inglaterra.

1.1.- Planteamiento del problema

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) cuenta con un sistema de brazo manipulador de cinco grados de libertad para el ROV Lynx 1117. Este sistema necesita de un control remoto y transmisor para controlar los movimientos del brazo desde tierra.

Se requiere realizar un sistema de comunicación y control de un sistema hidráulico basado en el principio de operación de los manipuladores submarinos de la empresa Hydrolek utilizados en los vehículos remotamente operados ROV's para comprender las etapas del funcionamiento y los elementos que se requieren considerar para la manipulación de este tipo de sistemas.

Específicamente se requiere realizar un sistema de comunicación y control para un brazo comercial de 5 funciones denominado EH5 de Hydrolek adquirido recientemente por CIDESI, como parte de un proyecto de impacto ambiental del golfo de México, teniendo como alcance principal el comprender el principio de funcionamiento, desarrollar y probar el sistema de comunicación y control y posteriormente realizar pruebas de funcionamiento para que en un trabajo futuro sea incorporado al funcionamiento del brazo manipulador EH5.

1.2.- Justificación

El desarrollo de sistemas electrónicos y mecánicos en el vehículo submarino ROV Lynx de la UNAM, se ha llevado a cabo de forma continua en las instalaciones del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) y dependiendo de las necesidades que demandan las tareas que el ROV Lynx está destinado a realizar, se incluyen diferentes módulos y funcionalidades que mejoran las capacidades de este vehículo.

Uno de los principales objetivos que el ROV Lynx tiene en los ámbitos de investigación y antropología, es realizar recorridos en suelos marinos y tomar y almacenar muestras para su posterior análisis en laboratorio.

Es por esto que recientemente se adquirió un kit de un brazo manipulador hidráulico para adaptarse al ROV. Por este motivo, un sistema para el control de los movimientos de este brazo hidráulico era necesario.

Teniendo en cuenta esta necesidad, se tomó la decisión de diseñar un sistema electrónico con la capacidad de recibir y transmitir datos para los movimientos del brazo manipulador.

1.3.- Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema de comunicación y control para un brazo manipulador de 5 funciones en base al principio de operación de los sistemas comerciales de manipuladores submarinos.

1.4.- Objetivos específicos

- Definir el principio de operación de los sistemas de manipulación submarina comerciales
- Seleccionar elementos de control
- Diseño de tarjetas electrónicas requeridas para la instrumentación
- Desarrollo de módulos transmisor y receptor de datos

1.5.- Alcances

El presente proyecto se centra en el desarrollo de un sistema electrónico para el control de los movimientos de un brazo hidráulico del vehículo submarino ROV Lynx de la UNAM, abarcando lo siguiente:

- Implementación de tarjetas de desarrollo “Launchpad MSP430g2553” para los módulos de transmisión y recepción de datos.
- Uso de software “IAR Embedded Workbench” para la programación de las tarjetas MSP.
- Uso de módulos MAX-485 para la adaptación de la señal serial de comunicación al protocolo RS-485.
- Implementación de joysticks para los elementos de entrada con la posibilidad de funcionar como entradas analógicas en una futura modificación (para el caso de este proyecto, los accionamientos de las válvulas únicamente son de tipo ON/OFF).
- Uso de software “Altium Designer” para el diseño de los circuitos electrónicos requeridos del proyecto y para la generación de archivos PCB de los circuitos impresos.
- Uso de maquina CNC para el fresado de las placas de cobre para los circuitos impresos requeridos.

El proyecto se limita al desarrollo de un módulo transmisor y uno receptor para controlar la activación de las válvulas y la bomba del brazo hidráulico manipulador del vehículo ROV Lynx antes mencionado. Sin embargo, el sistema está abierto a futuras modificaciones y/o mejoras.

Capítulo 2.- Marco Teórico

2.1.- ROV Lynx

El ROV Lynx es un vehículo diseñado para realizar inspecciones y tomas de muestras en el suelo marino, desarrollado por la empresa Saab Seaeye e implementado principalmente por la industria petrolera y en áreas de investigación, para desarrollar diversas tareas en aguas con profundidades de hasta 1500 metros [1].



Ilustración 1.- Vista general del vehículo submarino ROV Lynx

El Lynx está provisto de dos propulsores verticales y cuatro horizontales, los cuales, convierten el vehículo en una plataforma muy estable con una maniobrabilidad excepcional. Además, el Lynx ofrece un amplio rango de herramientas y sensores, así como kits intercambiables, los cuales son alimentados por unidades de suministro de energía especialmente dedicadas a estos.

Las siguientes características, están disponibles para este modelo:

- TMS tipo 8 u operación de nado libre
- Sistema de video en alta definición
- Unidad de control de superficie
- Medidor de espesor ultrasónico

2.1.1.- Sistemas TMS

El sistema de gestión umbilical (TMS) es una cabina para los vehículos remotamente operados (ROV's), el cual elimina el efecto de arrastre de la longitud del cable umbilical unido al ROV. También ofrece protección al ROV durante el lanzamiento y la recuperación.

Existe una amplia variedad de sistemas TMS para vehículos ROV. Para el caso del vehículo Lynx, el TMS adecuado es el tipo 8, el cual integra un marco de acero inoxidable, el cual minimiza las acciones de mantenimiento.

El TMS 8 consiste en una cabina con entrada lateral que puede ajustarse para alojar los distintos modelos de vehículos (entre ellos el Lynx) sin skid, con un skid o con dos skid. La parte superior desmontable contiene los controles y el mecanismo de gestión de umbilical. El umbilical se aloja en una bobina de polipropileno que dispone de un mecanismo para desplegar o recoger el umbilical. Los controles electrónicos están instalados en una carcasa de aluminio anodizado presurizada a 1 atmósfera.

Un mecanismo de sujeción hidrostático garantiza que el vehículo quede asegurado en la cabina hasta que alcance los 10m de profundidad, por debajo de la zona de influencia de las olas.

Una vez en la profundidad de trabajo, el ROV puede desplegarse desde el TMS hasta la distancia que le permita el umbilical. El piloto controla el umbilical del TMS desde el mando de control manual (o la unidad de control de superficie o desde los pedales) a medida que maniobra el vehículo. La longitud del umbilical desplegado se muestra superpuesto en el vídeo. Esta longitud se calcula automáticamente a partir del número de giros dados por la bobina durante la recogida o el despliegue.



Ilustración 2.- Cabina TMS para alojar al ROV Lynx

2.1.2.- Sistema de video en alta definición

El sistema de video del vehículo ROV Lynx cuenta con hasta 4 canales simultáneos de video están disponibles con alta definición opcional.

Además, se cuenta con una plataforma de inclinación para cámara de 90 grados, la cual admite dos cámaras y luces. Un potenciómetro de retroalimentación de inclinación proporcional ofrece un ángulo de inclinación preciso el cual es mostrado en video.



Ilustración 3.- Sistema de video del ROV Lynx



Ilustración 4.- Plataforma de inclinación del ROV Lynx

Otro factor importante relacionado con el sistema de video es la iluminación, ya que entre más iluminado esté la zona a la que enfocan las cámaras, mejor será la visibilidad en los monitores. El ROV Lynx posee dos canales de iluminación, los cuales son controlados individualmente [2].

Además, cuenta con lámparas Led de larga vida útil, las cuales ofrecen muy buena iluminación con un bajo consumo de energía y son robustas, lo cual las hace prácticamente libres de mantenimiento. La electrónica está encerrada por un

encapsulado impermeable maquinado de aluminio de grado marino 6082 y equipada con una alarma de fuga.



Ilustración 5.- Sistema de iluminación del ROV Lynx

El ROV Lynx cuenta con dos monitores de video de 17 pulgadas montados en un bastidor, los cuales muestran la señal de video de las cámaras y los siguientes datos:

- Trayectoria
- Rosa de los vientos analógica
- Profundidad
- Posición de inclinación
- Fecha y hora
- Texto libre del teclado
- Lecturas de la sonda de protección catódica
- Conteo de vueltas del vehículo
- Alarmas de vacío y filtración
- Una cadena de datos en vivo (altitud o latitud/longitud)

2.1.3.- Unidad de control de superficie

La unidad de control de superficie permite tener un control de los parámetros y acciones en el vehículo submarino, una vez que este se ha sumergido. Así mismo es posible visualizar las señales de video provenientes de las cámaras instaladas en el ROV.

El sistema de control de superficie ofrece:

- Control de conmutación de suministro de AC y DC
- Indicación de corriente y voltaje de DC
- Control de video
- Panel teclas para la configuración del sistema
- Conectores y entradas para conexiones de sistema e interfaces para equipo auxiliar



Ilustración 6.- Unidad de control de superficie del ROV Lynx

2.1.4.- Medidor de espesor ultrasónico

La medición ultrasónica de espesores es una técnica de ensayo no destructivo para la cual no es necesario cortar ni seccionar el material. Se trata de un método rápido, fiable y versátil que, a diferencia del uso de un micrómetro o un vernier, requiere el acceso a solamente una pared de la pieza a medir. Es por ello que se usa ampliamente para determinar el espesor de materiales como, por ejemplo, caños, tubos, válvulas, tanques, calderas y otros recipientes a presión, cascos navales o cualquier material sujeto a la corrosión y el desgaste.

El funcionamiento de los medidores de espesor por ultrasonido se basa en determinar con gran precisión lo que se denomina tiempo de vuelo, es decir, el tiempo que tarda un pulso de sonido generado por una pequeña sonda llamada transductor ultrasónico en atravesar una pieza y regresar al dispositivo. El transductor contiene un elemento piezoeléctrico que es excitado por un impulso eléctrico corto para generar una ráfaga de ondas ultrasónicas. Estas se acoplan dentro del material y lo atraviesan hasta que encuentran una pared posterior u otro límite. Luego, las reflexiones vuelven hacia el transductor, que convierte la energía acústica en energía eléctrica [3].

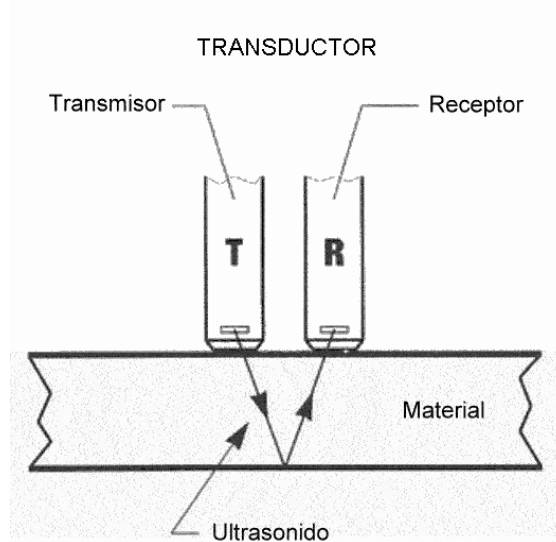


Ilustración 7.- Estructura interna de un medidor de espesores por ultrasonido

2.1.5.- Herramientas y accesorios adicionales

Existe una amplia variedad de accesorios y mecanismos diseñados para vehículos submarinos que son adaptables al Lynx. Entre ellos, se encuentran kits de manipuladores hidráulicos, herramientas de corte, cepillos limpiadores, sondas y sensores auxiliares.

Los accesorios adicionales, permiten al vehículo realizar tareas o actividades con un propósito específico. Por ejemplo, la implementación de un kit de brazo manipulador, puede permitir al vehículo submarino, tomar y almacenar muestras del suelo marino para su posterior análisis en laboratorio.

A continuación, se muestran algunos accesorios adicionales disponibles para el modelo Lynx:



Ilustración 8.- Brazo manipulador hidráulico



Ilustración 9.- Herramienta de cepillo limpiador



Ilustración 10.- Cortador de cable

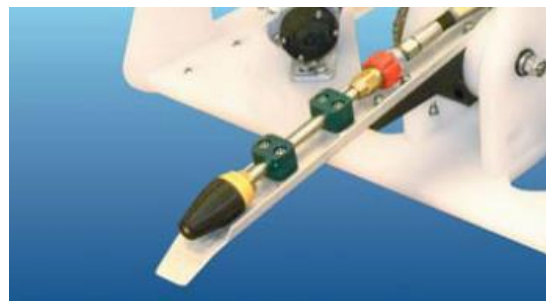


Ilustración 11.- Herramienta de chorro de agua

2.1.6.- Especificaciones técnicas del ROV Lynx

Vehículo ROV Lynx	
Profundidad	1500m
Longitud	1230mm
Altura	605mm
Anchura	815mm
Peso neto	200kg
Velocidad de avance	3 nudos
Propulsión de avance	66kgf
Propulsión lateral	47kgf
Propulsión vertical	43kgf
Capacidad máxima de carga	34kg

Tabla 1.- Especificaciones del ROV Lynx

2.2.- Estándar RS-485

Es una de las especificaciones de la norma RS449 publicada como estándar en 1983 en donde se especifican las características eléctricas de un circuito de comunicación digital de salida ya sea el estado “0” o “1” lógicos mediante una señal diferencial más una señal de alta impedancia o “tercer estado” con lo cual es posible conectar más de un emisor en la red, motivo por el cual, es muy útil en redes locales industriales a dos hilos. Actualmente conocido como la norma TIA-485-A.222 confirmada por la TIA (Telecommunications Industry Association) en 2003 [4].

2.2.1.- Características mecánicas

El estándar define conexiones con cable de par de cobre trenzado y terminales RJ11 por lo cual existe mayor resistencia a la interferencia electromagnética y mayor velocidad de transmisión que con la norma RS232.

Permite la conexión de hasta 32 emisores con 32 receptores en transmisión doble simultánea full dúplex capaz de enlazar procesadores de comunicación principal (master) con procesadores subordinados (slaves) cuyo funcionamiento (acceso priorizado) está definido por los mismos arreglos topológicos de las redes de datos [5].

Los dispositivos de la norma RS-485 mantienen compatibilidad con el estándar RS-232, donde se tiene un adaptador PCI Express de 16 puertos y alto rendimiento con enlaces para terminal serial RS-232.



Ilustración 12.- Interfaz RS-485 de 16 puertos de alto rendimiento PCI Express

2.2.2.- Características eléctricas

En la comunicación de la norma RS-485 se tiene que el emisor opera el “1” lógico a un voltaje de -1.5 a -5 Volt. el “0” lógico a la entrada del receptor en el rango de +0.2 a +12 Volt y la máxima tensión aplicada a la línea de salida es de -7 a +12 Volt.

El alcance de la transmisión está dado por la relación existente entre el volumen de los datos a transferir y el tiempo de la señal en la portadora determinado por la velocidad de transferencia de donde se obtiene que la longitud máxima del cable es de 1.200 m y la velocidad máxima de 10 Mbps que se obtiene en una distancia de 12 m [6].

2.3.- Robots industriales o manipuladores

2.3.1.- Definiciones de robots industriales

De acuerdo a la Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association), un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas.

La Organización Internacional de Estándares (ISO) adoptó esta definición ligeramente modificada la cual define a un robot industrial como un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.

La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) define el concepto en dos partes, primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

Manipulador: mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.

Robot: manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas.

Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

2.3.2.- Estructura de los robots industriales

Un manipulador robótico consta de una secuencia de elementos estructurales rígidos, denominados enlaces o eslabones, conectados entre sí mediante juntas o articulaciones, que permiten el movimiento relativo de cada dos eslabones consecutivos.

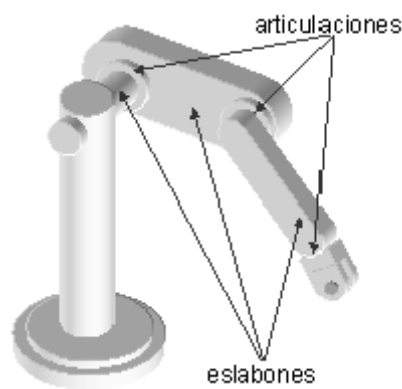


Ilustración 13.- Ejemplo de un brazo manipulador

Una articulación puede ser:

Lineal: También denominada deslizante, traslacional o prismática, es una articulación que consiste en un eslabón que se desliza sobre un eje solidario al eslabón anterior.

Rotacional: Esta articulación se genera cuando un eslabón gira en torno a un eje solidario al eslabón anterior.

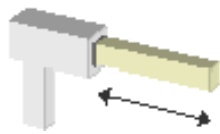


Ilustración 14.- Articulación lineal

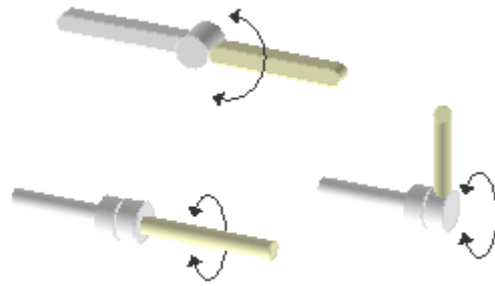


Ilustración 15.- Articulaciones rotacionales

El conjunto de eslabones y articulaciones se denomina cadena cinemática. Se dice que una cadena cinemática es abierta si cada eslabón se conecta mediante articulaciones exclusivamente al anterior y al siguiente, exceptuando el primero, que se suele fijar a un soporte, y el último, cuyo extremo final queda libre. A éste se puede conectar un elemento terminal o actuador final: una herramienta especial que permite al robot de uso general realizar una aplicación particular, que debe diseñarse específicamente para dicha aplicación.

A los manipuladores robóticos se les suele denominar también brazos de robot por la analogía que se puede establecer, en muchos casos, con las extremidades superiores del cuerpo humano.



Ilustración 16.- Partes de un manipulador

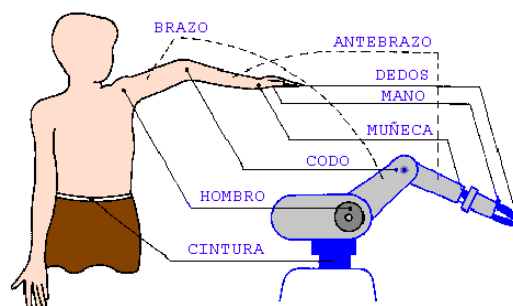


Ilustración 17.- Relación de un manipulador con un brazo humano

Se denomina grado de libertad (G.D.L.) a cada una de las coordenadas independientes que son necesarias para describir el estado del sistema mecánico del robot (posición y orientación en el espacio de sus elementos). Normalmente, en cadenas cinemáticas abiertas, cada par eslabón-articulación tiene un solo grado de libertad, ya sea de rotación o de traslación. Pero una articulación podría tener dos o más G.D.L. que operan sobre ejes que se cortan entre sí.



Ilustración 18.- Grados de libertad de un brazo manipulador

El análisis desde el punto de vista mecánico de un robot se puede efectuar atendiendo exclusivamente a sus movimientos (estudio cinemático) o atendiendo además a las fuerzas y momentos que actúan sobre sus partes (estudio dinámico) debidas a los elementos actuadores y a la carga transportada por el elemento terminal [7].

2.3.3.- Manipuladores en robótica submarina

En robótica submarina, es posible encontrar manipuladores en diversos vehículos operados de manera remota como ROV's o UAV's, los cuales son necesarios para la intervención en misiones. Estos brazos, le son útiles al vehículo para sujetarse de alguna estructura, o bien para manipular objetos o para tomar y recolectar muestras. Sus actuadores pueden ser tanto hidráulicos, como eléctricos.

Un ejemplo claro de este tipo de manipuladores es el HLK-EH5, un brazo manipulador hidráulico de 5 grados de libertad, desarrollado por la empresa HYDRO-LEK. Este modelo, está diseñado para realizar tareas de mediana duración tales como despliegues de sondas o grilletes y actividades de corte y agarre.



Ilustración 19.- Brazo hidráulico HLK-EH5

2.3.3.1.- Especificaciones técnicas del brazo HLK-EH5

HLK-EH5	
Longitud del brazo	795mm
Rotación	180°
Torque a 140 bar	14Nm
Capacidad de carga a 140 bar	25Kg
Peso en aire	10.5Kg
Peso en agua	8Kg
Construcción (Material)	Aluminio anodizado reforzado

Tabla 2.- Especificaciones de brazo HLK-EH5

Capítulo 3.- Metodología

Primeramente, se analizó el vehículo submarino y el brazo manipulador hidráulico con el que se iba a trabajar, teniendo en cuenta, los requerimientos y el equipo necesario para que estos operen de manera correcta en conjunto (Unidad de control de superficie, Sistema TMS, Fuente de Alimentación, bomba y válvulas hidráulicas para el manipulador).



Ilustración 20.- Vehículo ROV Lynx y brazo manipulador hidráulico

Una vez analizado lo anterior, se propuso un sistema para la transmisión y recepción de datos, tomando en cuenta las condiciones en las que tenía que operar el vehículo (Protocolo de comunicación RS-485 a través de cable umbilical) y el brazo manipulador (válvulas direccionales y bomba).

El sistema propuesto, consistió en un módulo transmisor provisto de joysticks y switches a través del cual un usuario en tierra activara o desactivara las válvulas direccionales y la bomba que controlan el manipulador. Los datos serían transmitidos a través del cable umbilical desde el módulo transmisor, hasta un módulo receptor ubicado en el vehículo submarino, el cual mandaría activar las válvulas direccionales para mover el brazo manipulador.



Ilustración 21.- Esquema del sistema propuesto

Para abordar la problemática y dar solución al problema, se esquematizó el circuito electrónico propuesto para la activación de las válvulas del manipulador del ROV Lynx. La siguiente ilustración muestra las etapas del circuito electrónico requerido.

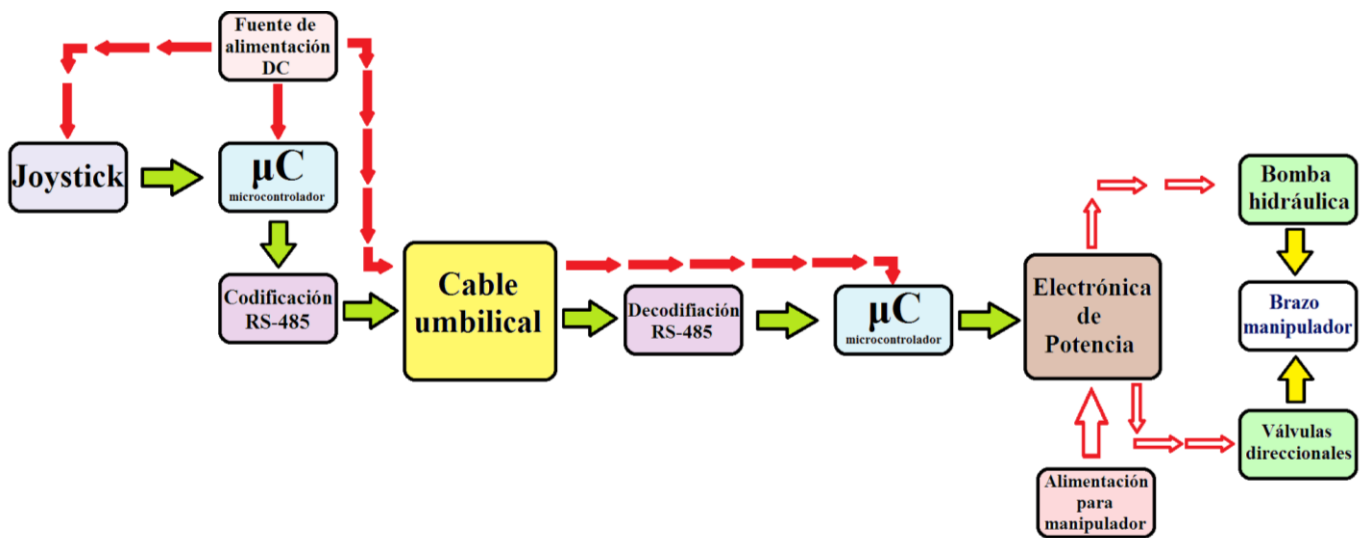


Ilustración 22.- Esquema general del sistema a realizar

El esquema mostrado anteriormente se resume principalmente en dos partes. La primera consiste en un gabinete, provisto exteriormente de botones, switches, indicadores y joysticks a partir de los cuales un usuario puede mandar una serie de instrucciones para manipular el brazo hidráulico a distancia. Por otra parte, en su interior se incluyen las etapas de adquisición de datos, envío de datos por comunicación serial y codificación de señal en protocolo RS-485.

La segunda parte consiste en un gabinete receptor el cual contiene en su interior una etapa de decodificación de la señal en RS-485, un microcontrolador encargado de procesar la señal hacia las salidas digitales y una tarjeta electrónica encargada de la etapa de potencia. Exteriormente se encuentran las terminales provenientes de la etapa de potencia, las cuales activan las válvulas direccionales conectadas al brazo manipulador.

3.1.- Desarrollo del circuito electrónico

Para el diseño de la primera parte del circuito electrónico, se analizó la estructura general del circuito requerido y la distribución de los elementos de entrada con relación a las válvulas de salida.

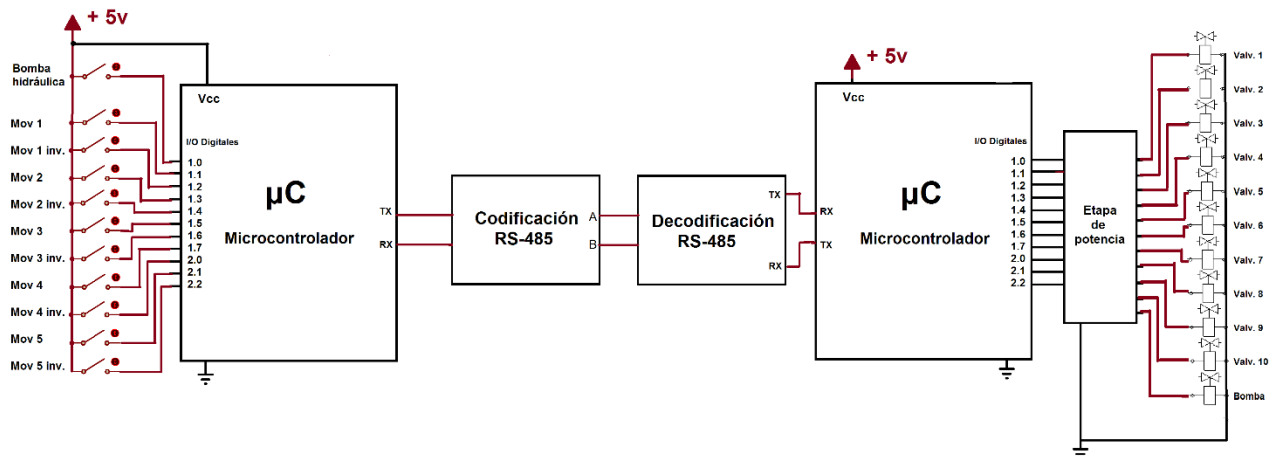


Ilustración 23.- Circuito electrónico general del proyecto

Una vez definidas las etapas y la estructura general del circuito a desarrollar, se procedió a trabajar con la primera parte del circuito, la cual comprende la captura, proceso y transmisión de datos por protocolo de comunicación RS-485. Lo primero a considerar fueron los elementos de entrada, el microcontrolador y el método de codificación de la señal que se iban a implementar en el circuito.

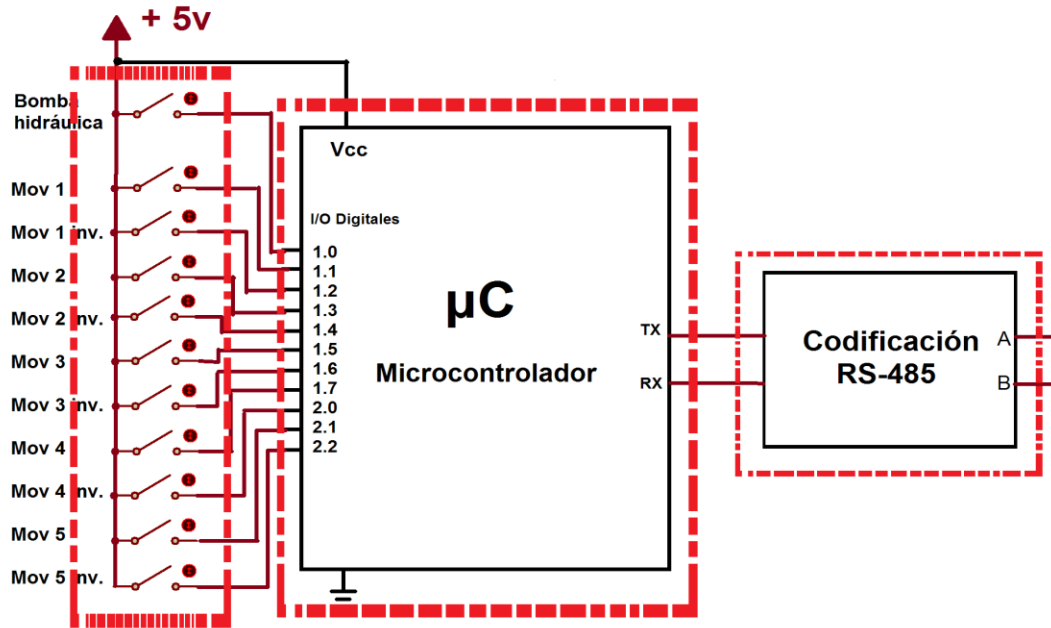


Ilustración 24.- Circuito electrónico del módulo transmisor

3.1.1.- Elementos de entrada

Los elementos de entrada constituyen la parte en la que el usuario tiene contacto directo con el circuito, por este motivo, se buscó que estos elementos fueran lo más adecuados posibles para la tarea a realizar. Como se aprecia en la imagen superior, las entradas propuestas, son de tipo digitales, esquematizadas inicialmente como simples interruptores.

Sin embargo, las conmutaciones de las entradas para este proyecto, no son por tiempos muy prolongados, además, las válvulas no deben de activarse en dos direcciones al mismo tiempo, por lo tanto, los interruptores de acción mecánica comunes no eran la mejor opción.

Basándose en sistemas similares, y en la estructura del circuito, se seleccionaron como elementos de entrada, módulos joysticks de dos ejes para la activación de las válvulas direccionales, de esta manera no se activan las dos direcciones de una válvula al mismo tiempo.

Los joysticks adquiridos son módulos de salida analógica, los cuales, a pesar de no entregar una salida digital, mediante la programación del microcontrolador, es posible usarlos sin problemas, además, si en un futuro se desea manipular una señal de entrada analógica, será posible utilizar los mismos módulos.



Ilustración 25.- Módulo joystick



Ilustración 26.- 3 módulos joystick

Para el accionamiento de la bomba hidráulica, se seleccionó un interruptor de acción mecánica de tipo palanca, el cual de igual manera se conectó directamente al microcontrolador.



Ilustración 27.- Interruptor de palanca

3.1.2.- Microcontrolador

El circuito requería de un microcontrolador que leyera las señales de entrada provenientes de los joysticks e interruptores del circuito, para posteriormente enviar información por un puerto serial, en base a la configuración de las entradas activadas. Para seleccionar el microcontrolador a utilizar se tomaron en cuenta aspectos como la complejidad de conexiones y circuitería que requeriría el microcontrolador, la cantidad de entradas necesarias, la capacidad de transmitir datos por comunicación serial y el costo que implicaría su implementación.

En un inicio, se consideró el uso de un PIC (controlador de interfaz periférico) puesto que, al haber una amplia variedad de modelos, había uno con los requerimientos necesarios para la tarea demandada, sin embargo, este tipo de microcontrolador requeriría de un circuito para ser montado y conectado con elementos externos, lo cual incrementaría la complejidad y costo de su implementación.

Finalmente se optó por utilizar la tarjeta de desarrollo de Texas Instruments “MSP Launchpad” modelo 430G2553 el cual cuenta con suficientes pines de entrada y con módulo de comunicación serial y a diferencia de otros microcontroladores, ya está montado en una placa prefabricada, lo cual simplifico la circuitería.



Ilustración 28.- Tarjetas de desarrollo MSP430G2553

3.1.3.- Comunicación por protocolo RS-485

Para la comunicación y la transmisión de datos entre los microcontroladores de este tipo, normalmente se hace uso del módulo UART, el cual hace posible una comunicación de tipo serial asíncrona con niveles lógicos de 0 y 5 volts. Sin embargo, para el caso de este proyecto, debido a las largas distancias de hasta 1500m entre la estación en tierra y el vehículo ROV Lynx, este sistema de comunicación por sí solo, no tiene la capacidad de funcionar correctamente. Por tal motivo, se requirió hacer uso del protocolo de comunicación RS-485 el cual, al utilizar señales de referencia diferenciales, amplía la distancia de transmisión hasta 2000 metros.

Para implementar este protocolo de comunicación se hizo uso del módulo Max 485, con el cual se toma la señal proveniente de las terminales de comunicación del microcontrolador (TX y RX) y se transmite la señal ya convertida e RS.485 hacia otro modulo receptor.



Ilustración 29.- Módulo MAX 485

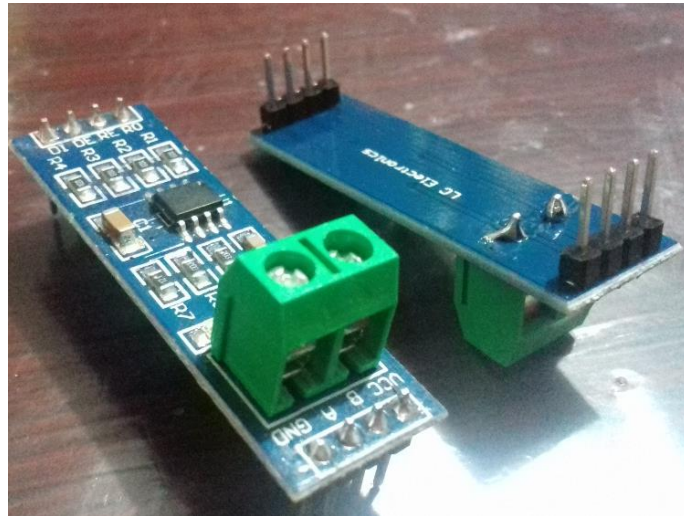


Ilustración 30.- Módulos MAX 485 para transmisión y recepción de datos.

3.1.4.- Circuito transmisor

Una vez definidos los materiales y elementos a implementar en la primera parte del circuito, se comenzó el armado del circuito en tablillas de practica tipo protoboard para comprobar el correcto funcionamiento del circuito, antes del ensamblaje en su estructura final.

Se conectaron los joysticks a las entradas analógicas del MSP430g2553, así como el interruptor de palanca para la bomba hidráulica en un pin configurado como entrada digital del microcontrolador. Los elementos de entrada, así como en propio microcontrolador se alimentaron con voltaje de corriente directa a 5V.

La programación del MSP se realizó con el software “IAR Embedded Workbench” mediante lenguaje C. Se configuraron los pines P1.0, P1.1, P1.3, P1.4 y P1.6 como entradas analógicas y se establecieron rangos de voltajes para determinar qué movimiento se realizó en cada joystick. El pin P1.7 se configuro como entrada digital para el interruptor de la bomba hidráulica y el pin P1.2 se utilizó como pin de transmisión de datos mediante el módulo UART interno del microcontrolador.

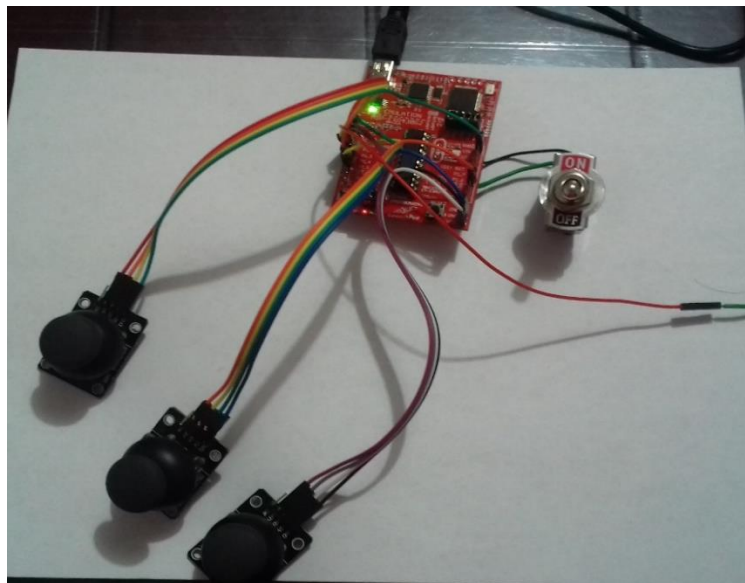


Ilustración 31.- Circuito electrónico para transmisión de datos

Una vez realizada la etapa de transmisión se prosiguió con la etapa de recepción del circuito, para la cual se utilizó de igual manera un módulo MAX 485 y un MSP430g2553. La siguiente etapa consistió en adaptar la potencia de las salidas del microcontrolador a la potencia requerida por las electroválvulas.

3.1.5.- Etapa de potencia

Para esta etapa se tomaron en cuenta los requerimientos de voltaje y corriente necesarios para activar las válvulas direccionales del brazo manipulador. Debido a que las válvulas direccionales requieren 24 volts de corriente directa y 2.5 amperes para funcionar de manera correcta, y el microcontrolador solo genera salidas de 3.3 volts a 48 mA, se buscaron elementos que pudieran activar las válvulas a partir de las señales generadas por el microcontrolador usado.

De esta manera, se seleccionó como elemento de potencia un Mosfet de la serie 2SK, el cual hizo la función de interruptor a partir de los pulsos generados por la salida del MSP. El Mosfet utilizado es el 2SK3424 con encapsulado TO-220 el cual puede funcionar sin problemas dentro de los parámetros de operación de corriente y voltaje de las válvulas direccionales del manipulador.

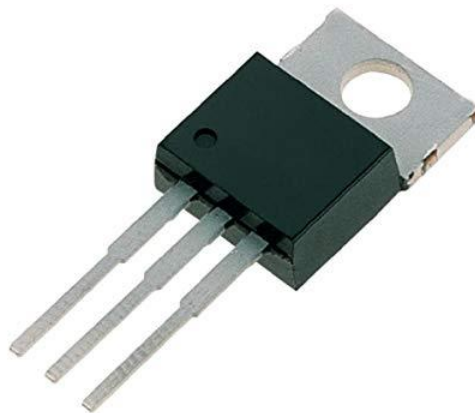


Ilustración 32.- Mosfet 2SK3424

Una vez terminada la selección de elementos a utilizar en el circuito de recepción de datos, se procedió al armado de esta etapa en tablillas de practica protoboard, para lo cual, se utilizaron como elementos finales diodos led, los cuales representan de manera visual las activaciones de cada una de las válvulas direccionales y de la bomba hidráulica.

Se tomó como pin de recepción de datos el P1.1 del MSP usado en esta etapa y los pines restantes del primer puerto se utilizaron para los indicadores leds. Del segundo puerto se utilizaron los pines P2.0, P2.1, P2.2 y P2.4 para los indicadores de las válvulas restantes y para la bomba se utilizó el pin P2.5.

De igual manera, el microcontrolador se conectó a alimentación de 5 volts de corriente directa y los diodos led con su resistencia para limitar la corriente a las salidas del MSP.

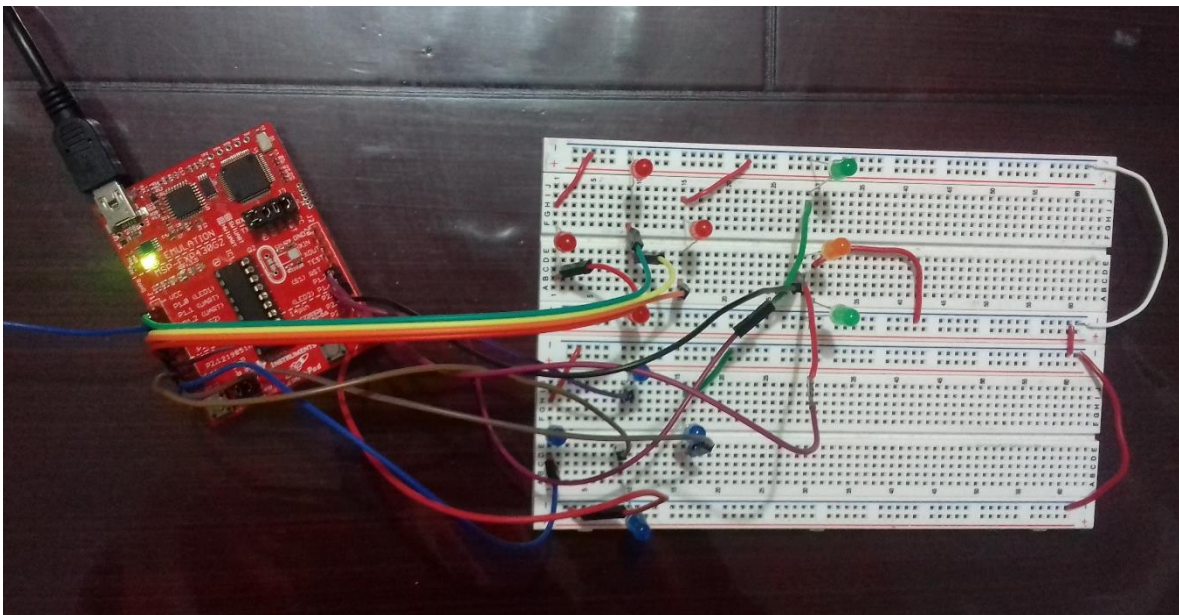


Ilustración 33.- Circuito electrónico para la recepción de datos

Finalmente, se juntaron los dos circuitos para comprobar el funcionamiento de la transmisión y recepción de datos. Para esto, ambos circuitos se conectaron a una misma fuente de poder para tener la misma señal de referencia.



Ilustración 34.- Circuitos electrónicos transmisor y receptor de datos

Se hicieron pruebas de funcionamiento realizando diferentes configuraciones para comprobar que la señal se enviara, recibiera y se representara de manera correcta en los leds.



Ilustración 35.- Prueba de circuito transmisor

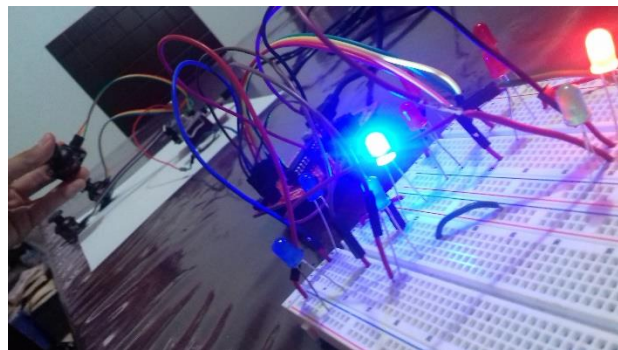


Ilustración 36.- Prueba de circuito receptor

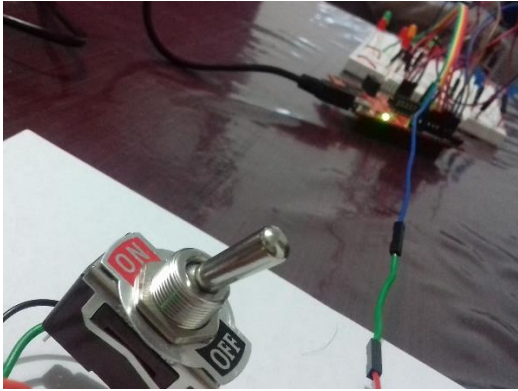


Ilustración 37.- Interruptor de la bomba OFF

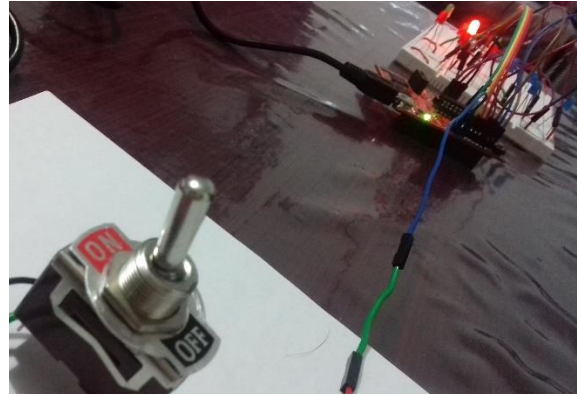


Ilustración 38.- Interruptor de la bomba ON

Posteriormente se colocaron los codificadores Max-485 para la conversión de comunicación serial y se hicieron las conexiones correspondientes para cada uno de los circuitos. De igual manera se hicieron pruebas para comprobar el funcionamiento del circuito completo.

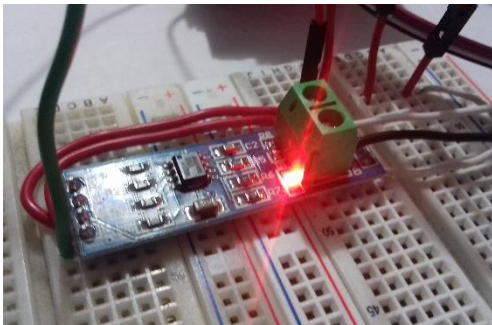


Ilustración 39.- Módulo MAX 485 transmisor

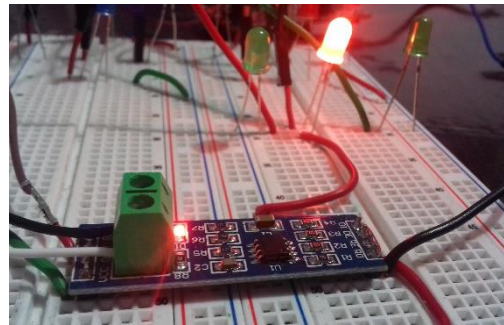


Ilustración 40.- Módulo MAX 485 receptor

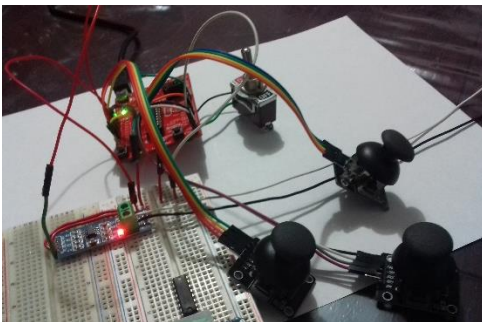


Ilustración 41.- Módulo transmisor en circuito

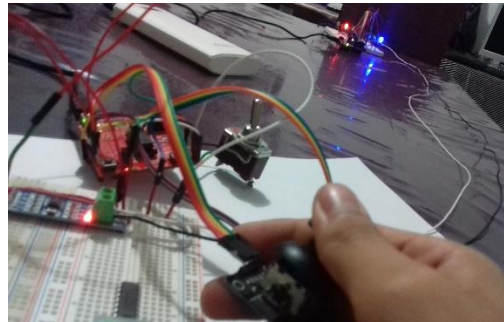


Ilustración 42.- Prueba con MAX 485

3.2.- Construcción del módulo transmisor.

Para el modulo transmisor, se utilizó un gabinete de cubierta plástica con dimensiones 18 x 6.5 x 11 cm. Originalmente el gabinete se encontraba completamente cerrado, únicamente contaba con una tapa en la parte inferior y tornillos para sujetarla a la estructura.



Ilustración 43.- Gabinete Steren



Ilustración 44.- Gabinete Steren abierto

Posteriormente se distribuyeron los elementos de entrada en el área de la parte superior del gabinete, se realizaron agujeros para los joysticks, el interruptor de palanca, se agregó otro botón de encendido general y un led para indicar el encendido del transmisor. Para colocar los joysticks se montó una estructura de material Fibracel a la parte inferior removible del gabinete, en la cual se atornillaron los joysticks para que sobresalieran por la parte superior.



Ilustración 45.- Joysticks montados en estructura de Fibracel

En la estructura de Fibracel se colocaron en la parte superior los joysticks y el modulo MAX-485. En la parte inferior, se fijó la tarjeta MSP y una placa perforada con pines de alimentación para todos los elementos del transmisor. Se realizó el cableado de los joysticks hacia el MSP, del codificador MAX-485 y de los interruptores situados en la parte superior del gabinete.

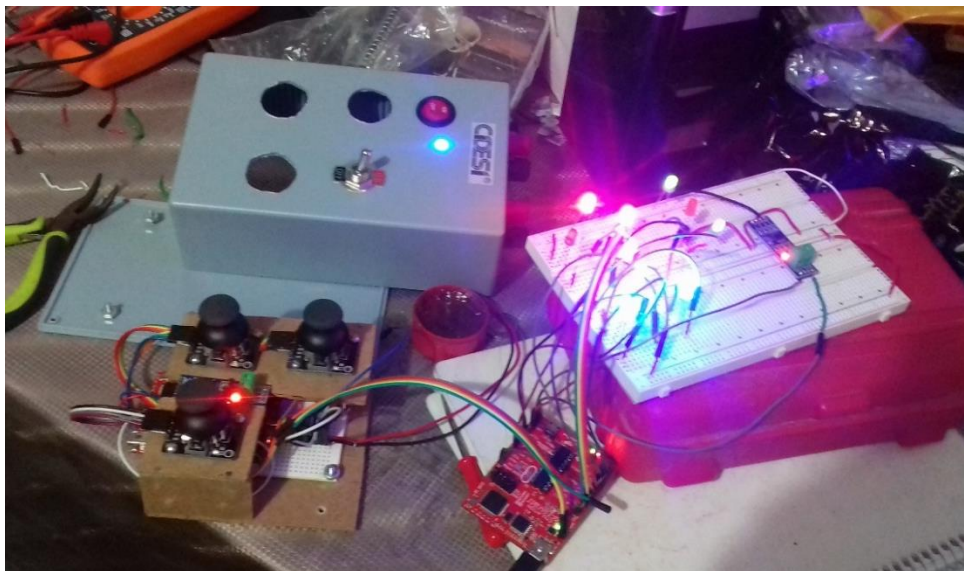


Ilustración 46.- Circuito transmisor montado en estructura de Fibracel

Una vez montados los elementos sobre la estructura de Fibracel y realizadas las conexiones, se colocaron terminales de tipo banana para la alimentación externa del módulo y para las salidas de comunicación hacia el receptor. Después, se montó todo sobre la tapa inferior del gabinete y se fijó a la parte superior con tornillos para aislar el circuito y fijar todo.



Ilustración 47.- Vista superior del módulo transmisor



Ilustración 48.- Vista frontal del módulo transmisor

Finalmente, se conectó el modulo transmisor terminado, al circuito receptor montado en las tablas de práctica para comprobar el correcto funcionamiento de todas las funciones.



Ilustración 49.- Módulo transmisor en funcionamiento



Ilustración 50.- Módulo transmisor

3.3.- Construcción del módulo receptor

Para el módulo receptor, se utilizó un gabinete igual al del módulo transmisor de 18 x 6.5 x 11cm. Este gabinete originalmente estaba pensado para ser más grande debido a la cantidad de salidas y a la circuitería interna que requería. Sin embargo, el espacio logro ser optimizado para acomodar todo el contenido en este gabinete.



Ilustración 51.- Gabinete Steren

3.3.1.- Tarjeta electrónica para etapa de potencia

Como se mencionó con anterioridad, se requería de una etapa de potencia para adecuar la señal de salida del microcontrolador a la de las válvulas direccionales y la bomba hidráulica. Por tal motivo, se optó por desarrollar una tarjeta electrónica con elementos de potencia tipo MOSFET para realizar esta tarea.

Lo primero a considerar para la construcción de la tarjeta, fueron los elementos que requeriría y el espacio disponible dentro del gabinete para determinar el tamaño máximo de la placa de cobre del circuito.

Para determinar el MOSFET adecuado para este circuito, se tomaron en cuenta los voltajes y corrientes que requieren las válvulas y la bomba hidráulica para ser activadas. Teniendo en cuenta esto, se determinó un voltaje de 24 volts de corriente directa y una corriente promedio de 2.5 Amperes por válvula. Además, se tomó a

consideración un voltaje de 3.3 volts a la salida del microcontrolador el cual debería activar la compuerta del MOSFET.

Teniendo en cuenta los requerimientos antes mencionados, se buscó un MOSFET que fuera capaz de operar bajo los voltajes y corrientes requeridos. Debido al voltaje de 3.3 volts para activar la compuerta, se tuvo que buscar un dispositivo que se disparara con un voltaje muy bajo, ya que la mayoría de los MOSFETS comerciales se disparaban a partir de los 4 volts como mínimo. Fue así que se optó por utilizar el MOSFET 2SK3424 el cual puede operar bajo las condiciones requeridas y dispara la compuerta desde los 2 volts aproximadamente a 25° C.

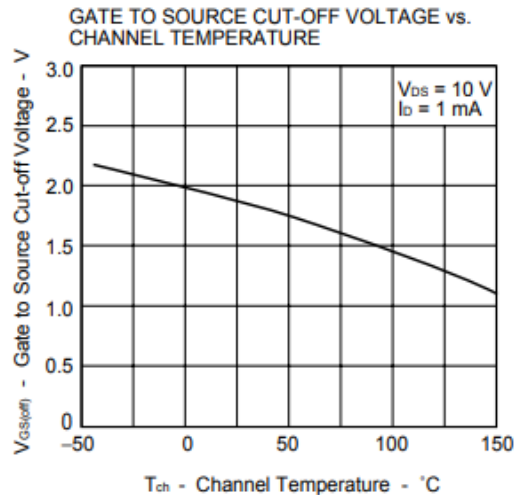
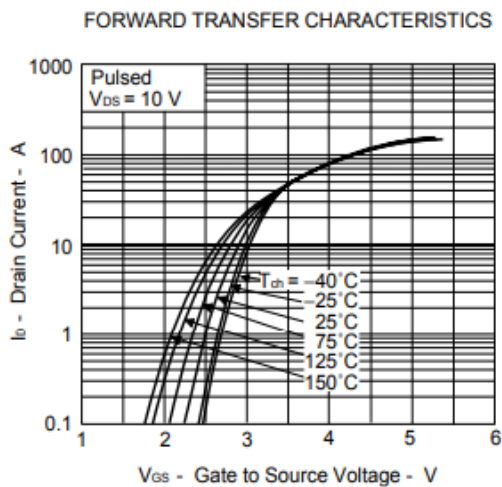


Ilustración 52.- Gráfica de corriente en drenador

Ilustración 53.- Gráfica de disparo de compuerta

Una vez definidos los elementos de accionamiento para activar y desactivar las válvulas direccionales, se realizó el circuito de la etapa de potencia en el software “Altium designer” para posteriormente realizar el circuito impreso en una placa de cobre. El circuito electrónico se realizó primeramente en el panel esquemático como se puede observar en la siguiente imagen.

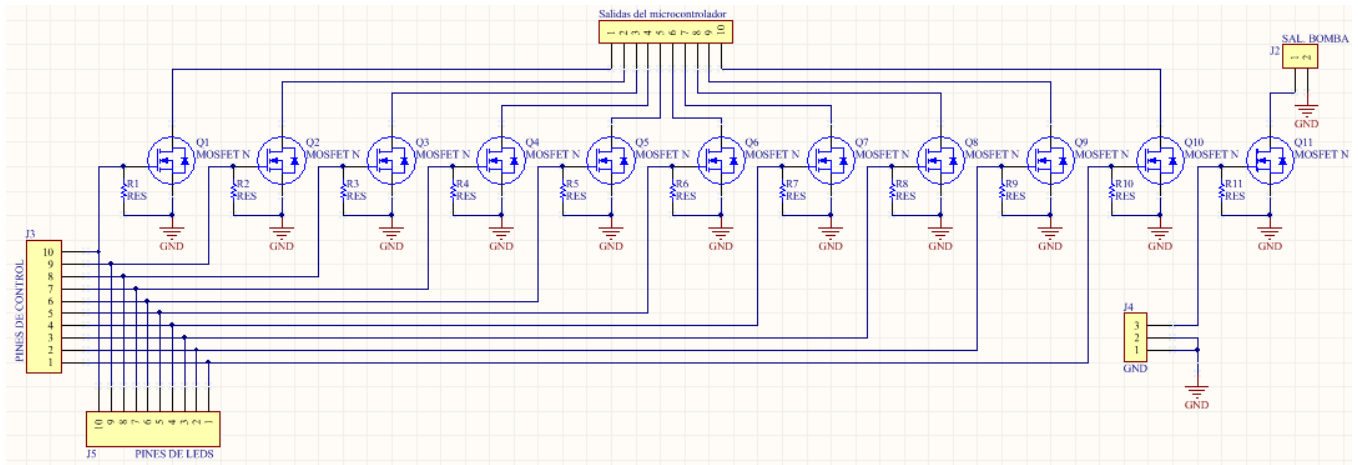


Ilustración 54.- Circuito esquemático de mosfets para etapa de potencia

Teniendo el circuito electrónico en esquemático, el siguiente paso era realizar el archivo PCB donde se detallarían las pistas y conexiones de la placa del circuito impreso, sin embargo, era importante conocer el espacio disponible para colocar la tarjeta en el gabinete, por lo tanto, se colocaron los demás circuitos del módulo receptor y se determinó que el espacio de trabajo disponible fue de 11.5 x 13cm.



Ilustración 55.- MSP 430 y módulo MAX 485 ubicados en la parte superior del gabinete

El diseño del PCB se realizó de igual manera en Altium Designer, utilizando el circuito esquemático mencionado anteriormente. Para la realización del diseño, se asociaron a los elementos del circuito, sus archivos de encapsulado y dimensiones, para posteriormente exportarlos al área de trabajo del PCB.

Posteriormente se acomodaron los elementos de tal manera que facilitarían las conexiones respetando el espacio máximo con el que se contaba y tomando en cuenta que los MOSFET contarían con disipadores de calor, lo cual implicaba un espacio extra. Finalmente se acomodaron todos los elementos y se dibujaron todas las pistas en un área de 10 x 10cm y se hizo el llenado de huecos para facilitar y reducir el tiempo de fresado en CNC del circuito impreso.

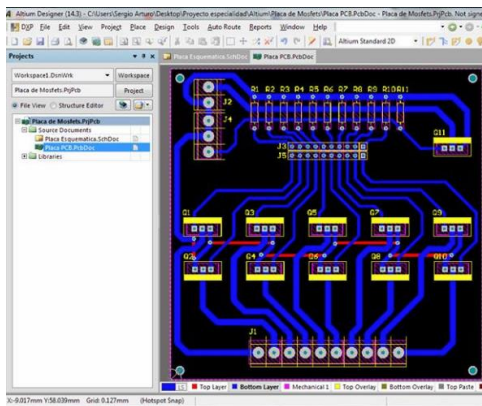


Ilustración 56.- Circuito PCB en Altium Designer

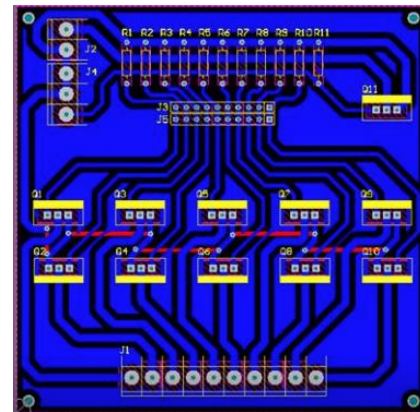


Ilustración 57.- Circuito PCB con relleno

También se generó un diseño en 3D de la placa simulada con todos los elementos del circuito.

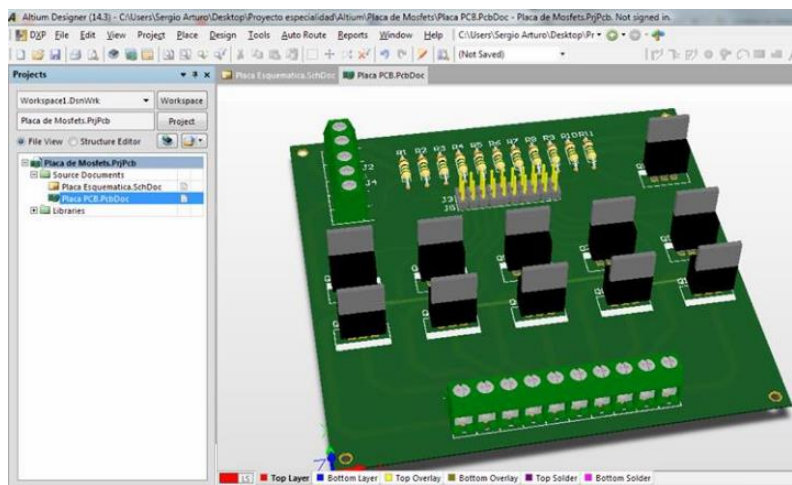


Ilustración 58.- Placa 3D simulada en Altium Designer

Para el fresado del circuito impreso se hizo uso de una maquina CNC en las instalaciones del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial. Utilizando una herramienta de “Altium” se exportó el diseño del PCB como un archivo tipo gerber, el cual, a través del software “Board Master” proporciono la información de ruteo a la CNC para poder maquinar la placa de cobre.

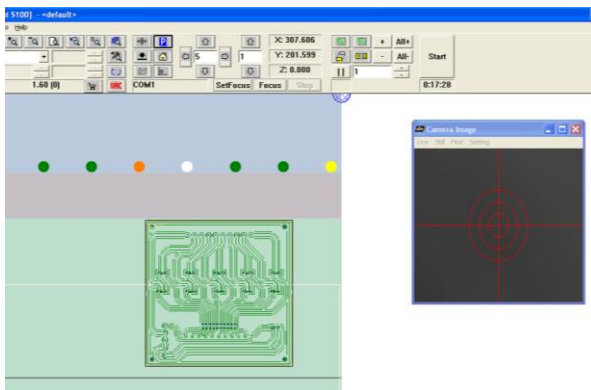


Ilustración 59.- Área de trabajo de la CNC en Board Master

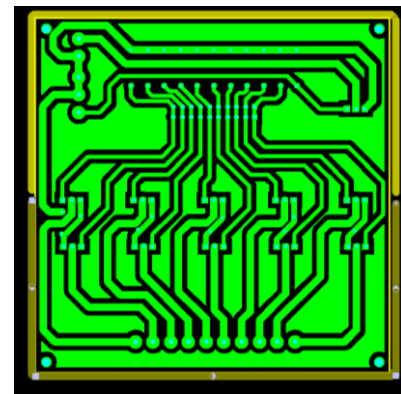


Ilustración 60.- Placa en archivo gerber

Una vez importados los archivos, se inició el fresado del circuito con la maquina CNC en una placa de cobre y finalmente fue recortada en un bloque de 10 x 10cm. La placa se lijó y limpio con alcohol isopropilico para facilitar la adherencia de la soldadura.



Ilustración 61.- Placa de cobre en CNC

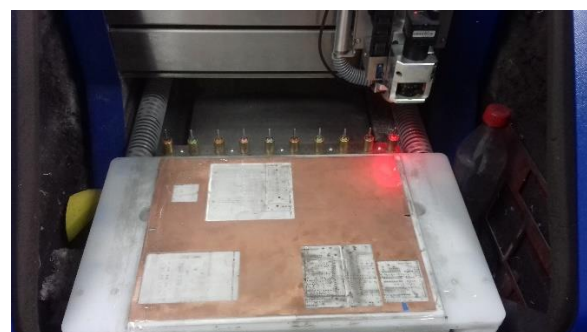


Ilustración 62.- Placa de cobre en CNC

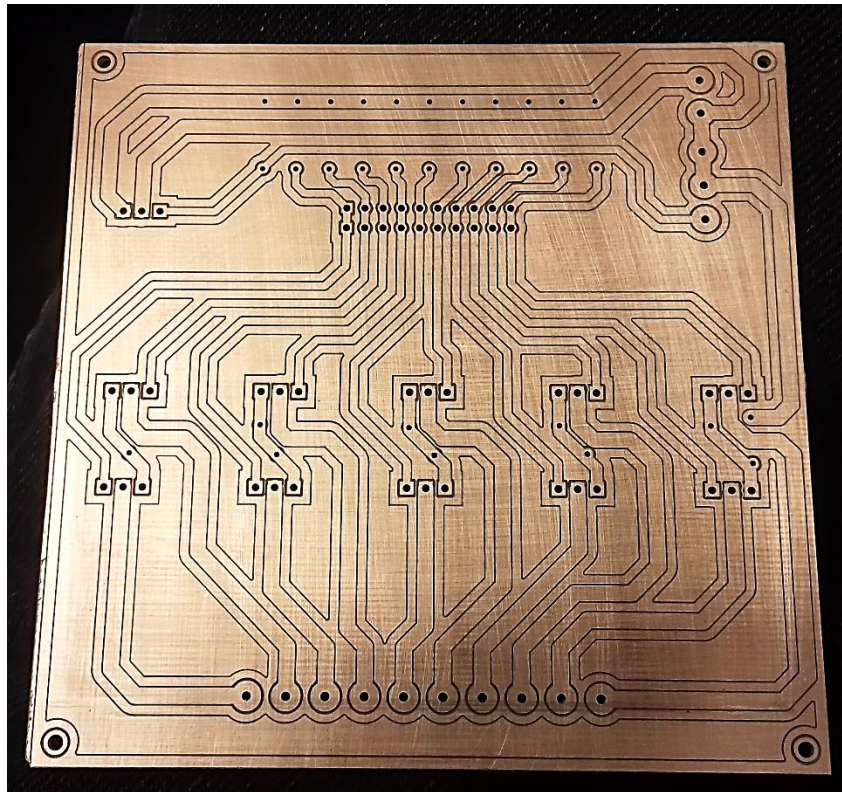


Ilustración 63.- Placa de circuito impreso maquinada en CNC

Posteriormente se consiguieron los elementos para la placa y se soldaron respectivamente. Para las soldaduras en las pistas más delgadas que requerían de un trabajo más fino, se usó la estación de soldadura con cautín de punta fina con que cuenta el laboratorio.

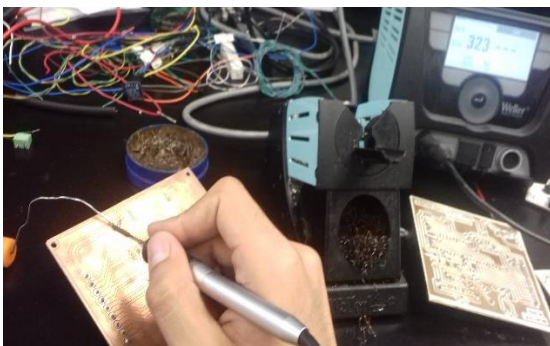


Ilustración 64.- Soldado de placa con Estación Weller

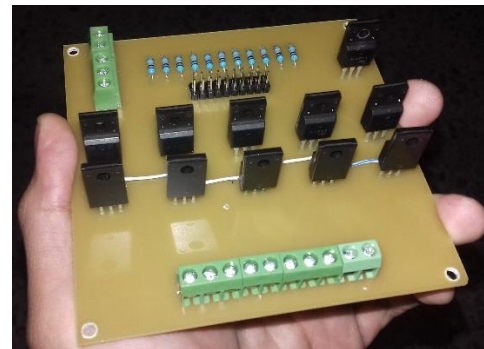


Ilustración 65.- Placa de MOSFETS con elementos soldado

Los MOSFET fueron puestos a prueba antes de ser soldados a la placa, se comprobó el voltaje mínimo en la puerta del dispositivo para el disparo. Primero se le aplicó una señal de 3.3 volts simulando ser la señal proveniente del microcontrolador y se observó que por la terminal drenadora y la surtidora se tenían los 12 volts completos provenientes de la fuente de alimentación. Después se fue disminuyendo el voltaje y se observó que a partir de 1.5 volts el voltaje empezó a descender.

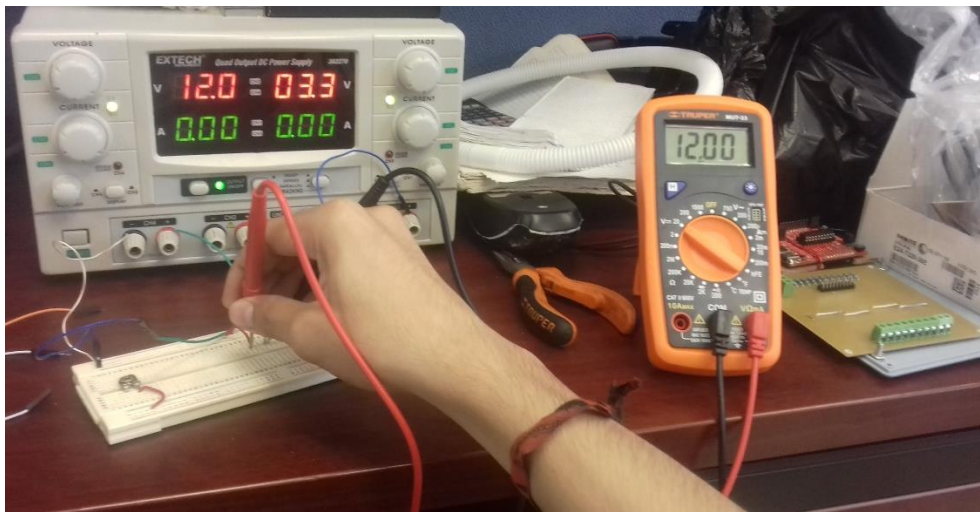


Ilustración 66.- Prueba 1 de disparo de MOSFET



Ilustración 67.- Prueba 2 de disparo de MOSFET Ilustración 68.- Prueba 3 de disparo de MOSFET

Después de soldar los elementos a la placa, se atornillaron los disipadores de calor a los MOSFET y se hicieron orificios en el gabinete para acomodar la tarjeta electrónica, el microcontrolador, el módulo de comunicación y la demás circuitería interna.

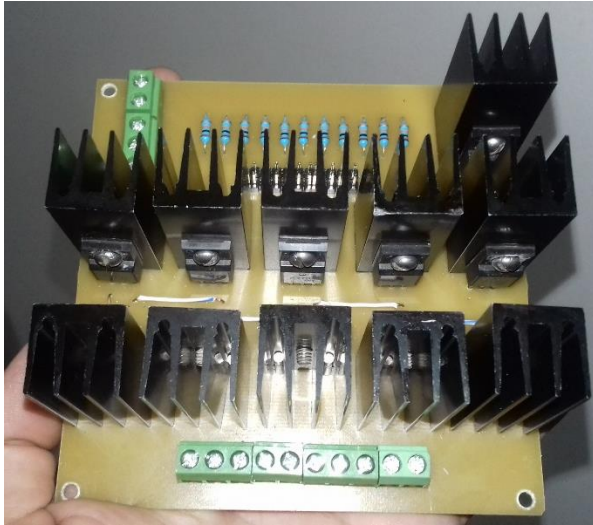


Ilustración 69.- Placa de MOSFETS con disipadores



Ilustración 70.- Placa de MOSFETS y módulos fijados al gabinete

En la tapa superior del gabinete se hizo un hueco para colocar el interruptor principal. A un lado se colocó un led verde para indicar el encendido. Debajo, se hicieron agujeros para colocar las 11 borneras para las terminales hacia las válvulas direccionales y la bomba hidráulica.



Ilustración 71.- Gabinete con switch de encendido



Ilustración 72.- Gabinete con agujeros para borneras

Posteriormente, se hicieron agujeros y se colocaron leds a un lado de las borneras para indicar de manera visual las conmutaciones de las válvulas y se unieron los cátodos de los leds por dentro.



Ilustración 73.- Vista frontal de gabinete

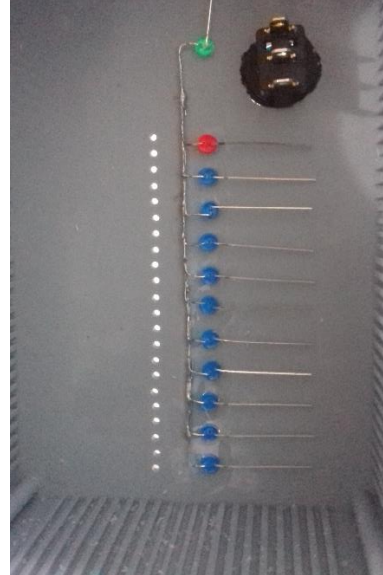


Ilustración 74.- Leds en gabinete (vista interior)

Las terminales para la alimentación del circuito, comunicación serial y alimentación de las válvulas y bomba hidráulica se colocaron en la parte superior. Se utilizaron terminales tipo banana hembra las cuales se atornillaron a la estructura del gabinete.



Ilustración 75.- Ensamblado de Terminales hembra

Las borneras se fijaron a la parte superior del gabinete y se soldaron sus terminales a los cables provenientes de las salidas de la placa electrónica de MOSFETS. De igual manera, las señales de control provenientes del microcontrolador hacia el circuito impreso y la circuitería del módulo de comunicación serial, se conectaron por medio de pequeños cables con terminales tipo hembra.

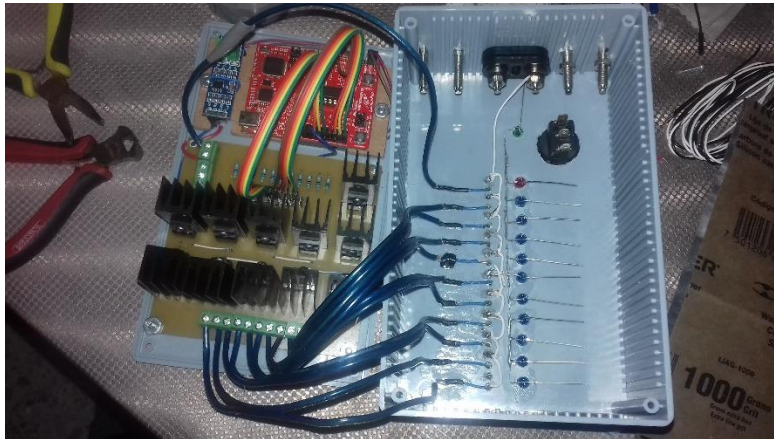


Ilustración 76.- Conexión de salidas de MOSFETS

Seguidamente, se soldaron los cables de los leds indicadores, provenientes de las señales de control del MSP y se aislaron con segmentos de thermo-fit, para evitar un mal funcionamiento o un corto circuito.

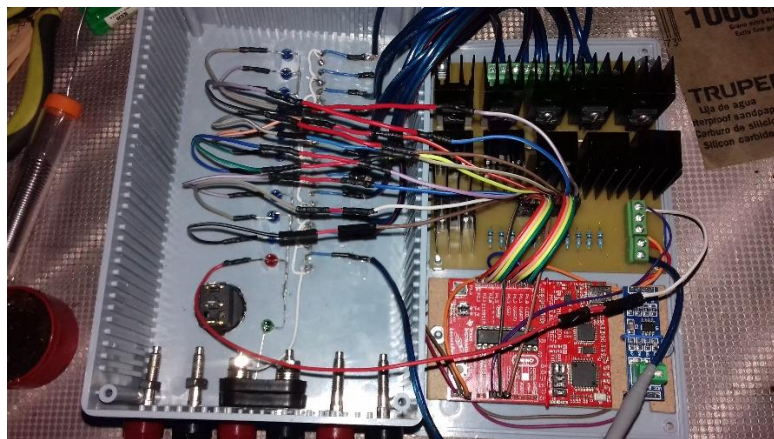


Ilustración 77.- Conexión de LEDS indicadores

Después, se conectaron las alimentaciones de los circuitos y módulos, mediante cables fijados en las terminales de entrada y la señal de comunicación hacia el modulo MAX-485. De igual manera, se conectó el switch de encendido y las tierras se unieron entre sí.

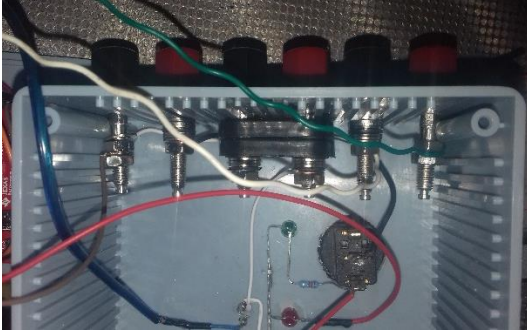


Ilustración 78.- Conexión de terminales de alimentación

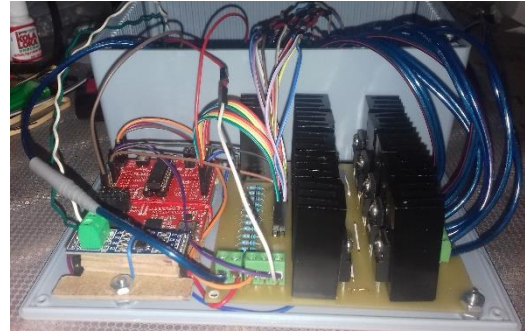


Ilustración 79.- Vista interior de gabinete

Una vez realizadas todas las conexiones del módulo receptor, se conectó al módulo transmisor, para comprobar su funcionamiento.

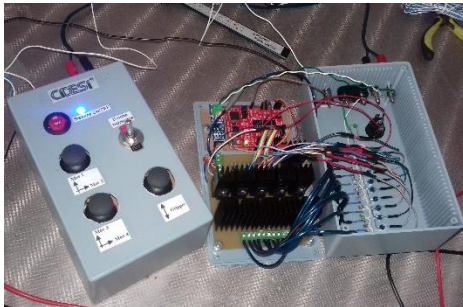


Ilustración 80.- Conexión de los dos módulos

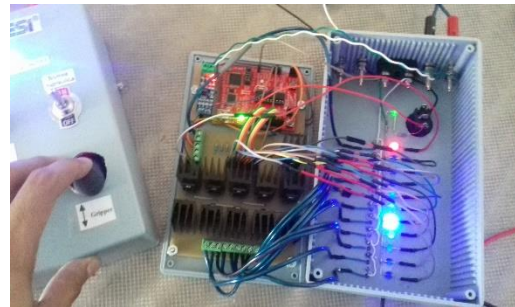


Ilustración 81.- Accionamiento de joystick

Sin embargo, se tuvo que hacer una modificación en la programación para ajustar la sensibilidad de los joysticks, debido a que en algunas ocasiones se activaban las salidas por movimientos muy mínimos en las palancas.

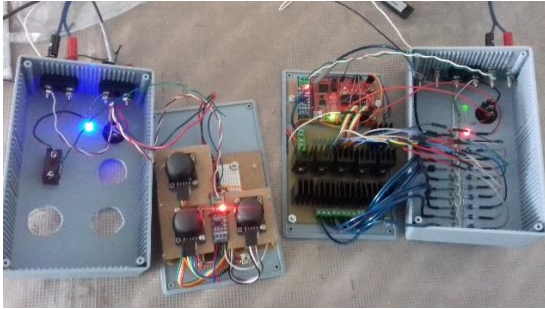


Ilustración 82.- Interior de gabinetes

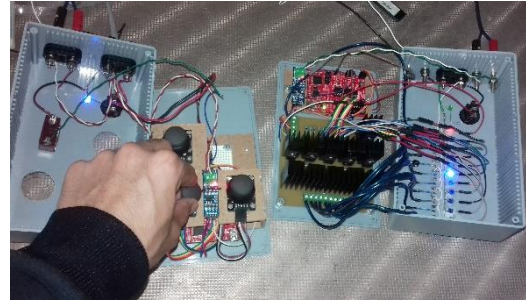


Ilustración 83.- Interior de gabinetes

Finalmente, se comprobó el correcto funcionamiento del módulo, se acomodaron los cables, se cerró y atornilló el gabinete, y se colocaron etiquetas para indicar el funcionamiento de cada uno de los elementos exteriores del gabinete.



Ilustración 84.- Módulo receptor terminado (vista 1)



Ilustración 85.- Modulo receptor terminado (vista 2)

Capítulo 4.- Resultados

Teniendo los módulos de transmisión y recepción terminados, lo único que restaba por hacer era poner a prueba el funcionamiento del sistema completo. Para lo cual, se montaron los módulos en un espacio de trabajo del laboratorio y se hicieron las conexiones correspondientes entre los módulos, las fuentes de alimentación y el brazo manipulador.

Se estableció la comunicación entre los dos módulos por protocolo RS-485 y se mandaron instrucciones a través de los joysticks y switches del módulo transmisor. En el módulo receptor, se pudo observar como al recibir una instrucción, el sistema mandaba activar las salidas para las válvulas correspondientes.



Ilustración 86.- Módulos Transmisor y Receptor terminados



Ilustración 87. Módulos Transmisor y Receptor comunicados



Ilustración 88.- Módulos Transmisor y Receptor (Prueba de funcionamiento)

Conclusiones

En el desarrollo e implementación de sistemas electrónicos para las diferentes funcionalidades del vehículo submarino ROV Lynx, el diseño de un sistema de comunicación para manipular el brazo hidráulico de este vehículo, es una parte crucial en este proyecto. Por tal motivo, el desarrollo de este proyecto presenta una alternativa para esta situación.

El sistema implementado y descrito a lo largo de este documento, permite a un usuario en tierra, tener el control de los movimientos del brazo manipulador del vehículo submarino, estando este, sumergido en aguas a una profundidad superior a los 1000 metros.

Provisto de este y otros sistemas en conjunto, es posible que un usuario realice maniobras con el vehículo submarino y tome muestras en el suelo marino en tiempo real, mueva obstáculos o realice otras actividades que requieran el uso del brazo hidráulico manipulador.

Si bien, el sistema electrónico desarrollado cubre las necesidades básicas de manipulación de los movimientos del brazo hidráulico, es posible realizar mejoras y funciones nuevas en un futuro. Tanto los módulos de transmisión como de recepción cuentan con entradas y salidas extras disponibles para ampliar la cantidad de funciones y elementos a controlar.

Bibliografía

- [1]. Saab Seaeye Underwater Vehicles, recuperado de <http://www.saabseaeye.com/solutions/underwater-vehicles/lynx>
- [2]. Saab Seaeye Underwater Robotic Systems, recuperado de <http://www.saabseaeye.com/about/about-saab-seaeye>
- [3]. Donald, G, 1981, *Standard Handbook for Electrical Engineers*, McGraw-Hill, Inc.
- [4]. Axelson, J, 2002, *Programming and Circuits for RS-232 and RS-485 Links and Networks*, Lakeview Research.
- [5]. M.A. Miller, *Data and Network Communications*, Delmar Thompson Learning. 2001.
- [6]. A. Elahi, *Network Communications Technology*, Delmar Thompson Learning. 2001.
- [7]. A. Alonso, *Programación y control de procesos*, Ra-Ma. 2004.

Anexos

Anexo A

Programación realizada en IAR Embedded Workbench para el microcontrolador MSP430G2553 del módulo transmisor.

```
#include <msp430g2553.h>

#define RXDUART    BIT1
#define TXDUART    BIT2

void myDelay(long int retardo); // Funcion myDelay

void main(void)
{
    //////////////// Configuración de reloj ////////////////
    WDCTL = WDTW + WDTOLD;           //Deshabilitar WDT
    BCCTL1 = CALBC1_16MHZ;           //Set DCO 16MHZ
    DCOCTL = CALDCO_16MHZ;           //
    ////////////////////////////////////////////////////

    //////////////// Configuración de los puertos ////////////////
    P1DIR &= ~BIT0 + ~BIT1 + ~BIT3   //
        + ~BIT4 + BIT6 + ~BIT7;     //
    P1DIR |= TXDUART + BIT5;         //
    P1SEL |= TXDUART ;               //
    P1SEL2 |=TXDUART ;               //
    P1REN |= BIT7;                   //
    P1OUT |= BIT7;                   //
    ////////////////////////////////////////////////////

    //////////////// Configuración de comunicación ////////////////
    UCA0CTL1 |= UCSWRST + UCSSEL_2;  // Reset Module + SMCLK
    UCA0BR0 = 0x82;                   // 130 to 16MHz 9600
    UCA0BR1 = 0x06;                   // 6
    UCA0MCTL = UCBRS_2 + UCBRS_1;    // modulation is 110b or 6
    UCA0CTL1 &= ~UCSWRST;            // **Initialize USCI state machine**
    ////////////////////////////////////////////////////
}
```

```

ADC10CTL0 = SREF_0 + ADC10SHT_2 + REFON + ADC10ON;
float valor;
P1OUT |= 0x20;

///////// Lectura y transmisión de datos ///////////
while(1)
{
    ADC10CTL0 &= ~ENC; //Desactiva la conversión del ADC
    ADC10CTL1 &= ~INCH_6; //Se desactiva la lectura en A6
    ADC10CTL1 |= INCH_0; //Se activa la lectura en A0
    ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; //ADC ON y se comienza a leer
    while (ADC10CTL1 & ADC10BUSY); //Se espera a que este libre el ADC
    valor=ADC10MEM; //Se guarda el valor de ADC en "valor"
    if ((valor) > 700) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'A'; } //Si se cumple se manda "A"
    if ((valor) < 100) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'B'; } //Si se cumple se manda "B"
    if (((valor) < 700)&&((valor) > 100)) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'O'; } //Si se cumple se manda "O"
    if (BIT7 &~P1IN){UCA0TXBUF = 'M';} //Si se activa P1.7 se manda "M"

    ADC10CTL0 &= ~ENC; //Desactiva la conversión del ADC
    ADC10CTL1 &= ~INCH_0; //Se desactiva la lectura en A0
    ADC10CTL1 |= INCH_1; //Se activa la lectura en A1
    ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; //ADC ON y se comienza a leer
    while (ADC10CTL1 & ADC10BUSY); //Se espera a que este libre el ADC
    valor=ADC10MEM; //Se guarda el valor de ADC en "valor"
    if ((valor) > 700) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'C'; } //Si se cumple se manda "C"
    if ((valor) < 100) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'D'; } //Si se cumple se manda "D"
    if (((valor) < 700)&&((valor) > 100)) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'P'; } //Si se cumple se manda "P"
    if (BIT7 &~P1IN){UCA0TXBUF = 'M';} //Si se activa P1.7 se manda "M"

    ADC10CTL0 &= ~ENC; //Desactiva la conversión del ADC
    ADC10CTL1 &= ~INCH_1; //Se desactiva la lectura en A1
    ADC10CTL1 |= INCH_3; //Se activa la lectura en A3
    ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; //ADC ON y se comienza a leer
    while (ADC10CTL1 & ADC10BUSY); //Se espera a que este libre el ADC
    valor=ADC10MEM; //Se guarda el valor de ADC en "valor"
    if ((valor) > 700) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'E'; } //Si se cumple se manda "E"
    if ((valor) < 100) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'F'; } //Si se cumple se manda "F"
    if (((valor) < 700)&&((valor) > 100)) //Se compara el valor del ADC
    { UCA0TXBUF = 'Q'; } //Si se cumple se manda "Q"
    if (BIT7 &~P1IN){UCA0TXBUF = 'M';} //Si se activa P1.7 se manda "M"
}

```

```

ADC10CTL0 &= ~ENC; //Desactiva la conversión del ADC
ADC10CTL1 &= ~INCH_3; //Se desactiva la lectura en A3
ADC10CTL1 |= INCH_4; //Se activa la lectura en A4
ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; //ADC ON y se comienza a leer
while (ADC10CTL1 & ADC10BUSY); //Se espera a que este libre el ADC
valor=ADC10MEM; //Se guarda el valor de ADC en "valor"
if ((valor) > 700) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'G'; } //Si se cumple se manda "G"
if ((valor) < 100) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'H'; } //Si se cumple se manda "H"
if (((valor) < 700)&&((valor) > 100)) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'R'; } //Si se cumple se manda "R"
if (BIT7 &~P1IN){UCA0TXBUF = 'M';} //Si se activa P1.7 se manda "M"

ADC10CTL0 &= ~ENC; //Desactiva la conversión del ADC
ADC10CTL1 &= ~INCH_4; //Se desactiva la lectura en A4
ADC10CTL1 |= INCH_6; //Se activa la lectura en A6
ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; //ADC ON y se comienza a leer
while (ADC10CTL1 & ADC10BUSY); //Se espera a que este libre el ADC
valor=ADC10MEM; //Se guarda el valor de ADC en "valor"
if ((valor) > 600) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'I'; } //Si se cumple se manda "I"
if ((valor) < 100) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'J'; } //Si se cumple se manda "J"
if (((valor) < 600)&&((valor) > 100)) //Se compara el valor del ADC
{ UCA0TXBUF = 'S'; } //Si se cumple se manda "S"
if (BIT7 &~P1IN){UCA0TXBUF = 'M';} //Si se activa P1.7 se manda "M"
} //
////////////////////////////////////

}

void myDelay(long int retardo) //Función myDelay
{ do retardo--; while(retardo != 0);} //se resta una unidad a retardo mientras
//sea mayor a cero.

```


Anexo B

Programación realizada en IAR Embedded Workbench para el microcontrolador MSP430G2553 del módulo receptor.

```
#include <msp430g2553.h>

#define RXDUART    BIT1
#define TXDUART    BIT2

void myDelay(long int retardo); // Funcion myDelay

void main(void)
{
    //////////////// Configuración de reloj ////////////////
    WDCTL = WDTPW + WDTLHOLD;           //Deshabilitar WDT
    BCCTL1 = CALBC1_16MHZ;               //Set DCO 16MHZ
    DCOCTL = CALDCO_16MHZ;              //
    //////////////////////////////////////////////////

    //////////////// Configuración de los puertos ////////////////
    P1DIR &= ~RXDUART;                   //
    P1DIR |= TXDUART + BIT0 + BIT3 +
           BIT4 + BIT5 + BIT6 + BIT7;    //
    P2DIR |= BIT0 + BIT1 + BIT2 + BIT5 + BIT4; //
    P1SEL |= RXDUART ;                   //
    P1SEL2 |= RXDUART ;                  //
    //////////////////////////////////////////////////

    //////////////// Configuración de comunicación ////////////////
    UCA0CTL1 |= UCSWRST + UCSSEL_2;      // Reset Module + SMCLK
    UCA0BR0 = 0x82;                       // 130 to 16MHz 9600
    UCA0BR1 = 0x06;                       // 6
    UCA0MCTL = UCBSR_2 + UCBSR_1;        // modulation is 110b or 6
    UCA0CTL1 &= ~UCSWRST;                 // **Initialize USCI state machine**
    //////////////////////////////////////////////////
}
```

```

//////////  Recepcion de datos y  ////////////
//////////  activación de salidas  ////////////
while(1)
{
  if (UCA0RXBUF == 'A') //Si se recibe el caracter A
  {P1OUT = 0x01;} //Se activa la salida P1.0
  if (UCA0RXBUF == 'B') //Si se recibe el caracter B
  {P1OUT = 0x04;} //Se activa la salida P1.2
  if (UCA0RXBUF == 'C') //Si se recibe el caracter C
  {P1OUT = 0x08;} //Se activa la salida P1.3
  if (UCA0RXBUF == 'D') //Si se recibe el caracter D
  {P1OUT = 0x10;} //Se activa la salida P1.4
  if (UCA0RXBUF == 'O') //Si se recibe el caracter O
  {P1OUT &= 0xFA;} //Se desactiva P1.0 Y P1.2
  if (UCA0RXBUF == 'P') //Si se recibe el caracter P
  {P1OUT &= 0xE7;} //Se desactiva P1.3 Y P1.4

  if (UCA0RXBUF == 'E') //Si se recibe el caracter E
  {P1OUT = 0x20;} //Se activa la salida P1.5
  if (UCA0RXBUF == 'F') //Si se recibe el caracter F
  {P2OUT = 0x01;} //Se activa la salida P2.0
  if (UCA0RXBUF == 'G') //Si se recibe el caracter G
  {P2OUT = 0x02;} //Se activa la salida P2.1
  if (UCA0RXBUF == 'H') //Si se recibe el caracter H
  {P2OUT = 0x04;} //Se activa la salida P2.2
  if (UCA0RXBUF == 'Q') //Si se recibe el caracter Q
  {P1OUT &= 0xDF; P2OUT &= 0xFE;} //Se desactiva P1.5 Y P2.0
  if (UCA0RXBUF == 'R') //Si se recibe el caracter R
  {P2OUT &= 0xF9;} //Se desactiva P2.1 Y P2.2

  if (UCA0RXBUF == 'I') //Si se recibe el caracter I
  {P1OUT = 0x40;} //Se activa la salida P1.6
  if (UCA0RXBUF == 'J') //Si se recibe el caracter J
  {P1OUT = 0x80;} //Se activa la salida P1.7
  if (UCA0RXBUF == 'S') //Si se recibe el caracter S
  {P1OUT &= 0x3F;} //Se desactiva P1.6 Y P1.7

  if (UCA0RXBUF == 'M') //Si se recibe el caracter M
  {P2OUT |= 0x20;} //Se activa la salida P2.5
  myDelay(10); //Retardo de 10 restas
  if (UCA0RXBUF != 'M') //Si no se recibe el caracter M
  {P2OUT &= 0xDF;} //Se desactiva P2.5
}
//////////
}

void myDelay(long int retardo) //Función myDelay
{ do retardo--; while(retardo != 0);} //se resta una unidad a retardo mientras
//sea mayor a cero.

```

Anexo C

Extracto de hoja de datos del integrado MAX 485.

19-0122; Rev 7; 6/03



Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers

General Description

The MAX481, MAX483, MAX485, MAX487–MAX491, and MAX1487 are low-power transceivers for RS-485 and RS-422 communication. Each part contains one driver and one receiver. The MAX483, MAX487, MAX488, and MAX489 feature reduced slew-rate drivers that minimize EMI and reduce reflections caused by improperly terminated cables, thus allowing error-free data transmission up to 250kbps. The driver slew rates of the MAX481, MAX485, MAX490, MAX491, and MAX1487 are not limited, allowing them to transmit up to 2.5Mbps.

These transceivers draw between 120µA and 500µA of supply current when unloaded or fully loaded with disabled drivers. Additionally, the MAX481, MAX483, and MAX487 have a low-current shutdown mode in which they consume only 0.1µA. All parts operate from a single 5V supply.

Drivers are short-circuit current limited and are protected against excessive power dissipation by thermal shutdown circuitry that places the driver outputs into a high-impedance state. The receiver input has a fail-safe feature that guarantees a logic-high output if the input is open circuit.

The MAX487 and MAX1487 feature quarter-unit-load receiver input impedance, allowing up to 128 MAX487/MAX1487 transceivers on the bus. Full-duplex communications are obtained using the MAX488–MAX491, while the MAX481, MAX483, MAX485, MAX487, and MAX1487 are designed for half-duplex applications.

Applications

Low-Power RS-485 Transceivers
 Low-Power RS-422 Transceivers
 Level Translators
 Transceivers for EMI-Sensitive Applications
 Industrial-Control Local Area Networks

Features

- ◆ In µMAX Package: Smallest 8-Pin SO
- ◆ Slew-Rate Limited for Error-Free Data Transmission (MAX483/487/488/489)
- ◆ 0.1µA Low-Current Shutdown Mode (MAX481/483/487)
- ◆ Low Quiescent Current:
 120µA (MAX483/487/488/489)
 230µA (MAX1487)
 300µA (MAX481/485/490/491)
- ◆ -7V to +12V Common-Mode Input Voltage Range
- ◆ Three-State Outputs
- ◆ 30ns Propagation Delays, 5ns Skew (MAX481/485/490/491/1487)
- ◆ Full-Duplex and Half-Duplex Versions Available
- ◆ Operate from a Single 5V Supply
- ◆ Allows up to 128 Transceivers on the Bus (MAX487/MAX1487)
- ◆ Current-Limiting and Thermal Shutdown for Driver Overload Protection

Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX481CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX481CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX481CUA	0°C to +70°C	8 µMAX
MAX481C/D	0°C to +70°C	Dice*

Ordering information continued at end of data sheet.

*Contact factory for dice specifications.

Selection Table

PART NUMBER	HALF/FULL DUPLEX	DATA RATE (Mbps)	SLEW-RATE LIMITED	LOW-POWER SHUTDOWN	RECEIVER/DRIVER ENABLE	QUIESCENT CURRENT (µA)	NUMBER OF TRANSMITTERS ON BUS	PIN COUNT
MAX481	Half	2.5	No	Yes	Yes	300	32	8
MAX483	Half	0.25	Yes	Yes	Yes	120	32	8
MAX485	Half	2.5	No	No	Yes	300	32	8
MAX487	Half	0.25	Yes	Yes	Yes	120	128	8
MAX488	Full	0.25	Yes	No	No	120	32	8
MAX489	Full	0.25	Yes	No	Yes	120	32	14
MAX490	Full	2.5	No	No	No	300	32	8
MAX491	Full	2.5	No	No	Yes	300	32	14
MAX1487	Half	2.5	No	No	Yes	230	128	8

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

MAX481/MAX483/MAX485/MAX487-MAX491/MAX1487

Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V _{CC}).....	12V	14-Pin SO (derate 8.33mW/°C above +70°C).....	667mW
Control Input Voltage (RE, DE).....	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	8-Pin μMAX (derate 4.1mW/°C above +70°C).....	830mW
Driver Input Voltage (DI).....	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	8-Pin CERDIP (derate 8.00mW/°C above +70°C).....	640mW
Driver Output Voltage (A, B).....	-8V to +12.5V	14-Pin CERDIP (derate 9.09mW/°C above +70°C).....	727mW
Receiver Input Voltage (A, B).....	-8V to +12.5V	Operating Temperature Ranges	
Receiver Output Voltage (RO).....	-0.5V to (V _{CC} + 0.5V)	MAX4_C_/MAX1487C_A.....	0°C to +70°C
Continuous Power Dissipation (T _A = +70°C)		MAX4_E_/MAX1487E_A.....	-40°C to +85°C
8-Pin Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C)....	727mW	MAX4_MJ_/MAX1487MJA.....	-55°C to +125°C
14-Pin Plastic DIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)...	800mW	Storage Temperature Range.....	
8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C).....	471mW	-65°C to +160°C	
		Lead Temperature (soldering, 10sec).....	
		+300°C	

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V ±5%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Differential Driver Output (no load)	V _{OD1}				5	V
Differential Driver Output (with load)	V _{OD2}	R = 50Ω (RS-422)	2			V
		R = 27Ω (RS-485), Figure 4	1.5		5	
Change in Magnitude of Driver Differential Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{OD}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Driver Common-Mode Output Voltage	V _{OC}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			3	V
Change in Magnitude of Driver Common-Mode Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{OD}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Input High Voltage	V _{IH}	DE, DI, RE	2.0			V
Input Low Voltage	V _{IL}	DE, DI, RE			0.8	V
Input Current	I _{IN1}	DE, DI, RE			±2	μA
Input Current (A, B)	I _{IN2}	DE = 0V; V _{CC} = 0V or 5.25V, all devices except MAX487/MAX1487	V _{IN} = 12V		1.0	mA
			V _{IN} = -7V		-0.8	
		MAX487/MAX1487, DE = 0V, V _{CC} = 0V or 5.25V	V _{IN} = 12V		0.25	mA
			V _{IN} = -7V		-0.2	
Receiver Differential Threshold Voltage	V _{TH}	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V	-0.2		0.2	V
Receiver Input Hysteresis	ΔV _{TH}	V _{CM} = 0V		70		mV
Receiver Output High Voltage	V _{OH}	I _O = -4mA, V _{ID} = 200mV	3.5			V
Receiver Output Low Voltage	V _{OL}	I _O = 4mA, V _{ID} = -200mV			0.4	V
Three-State (high impedance) Output Current at Receiver	I _{OZR}	0.4V ≤ V _O ≤ 2.4V			±1	μA
Receiver Input Resistance	R _{IN}	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V, all devices except MAX487/MAX1487	12			kΩ
		-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V, MAX487/MAX1487	48			kΩ

Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers

Line Length vs. Data Rate

The RS-485/RS-422 standard covers line lengths up to 4000 feet. For line lengths greater than 4000 feet, see Figure 23.

Figures 19 and 20 show the system differential voltage for the parts driving 4000 feet of 26AWG twisted-pair wire at 110kHz into 120Ω loads.

Typical Applications

The MAX481, MAX483, MAX485, MAX487-MAX491, and MAX1487 transceivers are designed for bidirectional data communications on multipoint bus transmission lines.

Figures 21 and 22 show typical network applications circuits. These parts can also be used as line repeaters, with cable lengths longer than 4000 feet, as shown in Figure 23.

To minimize reflections, the line should be terminated at both ends in its characteristic impedance, and stub lengths off the main line should be kept as short as possible. The slew-rate-limited MAX483 and MAX487-MAX489 are more tolerant of imperfect termination.

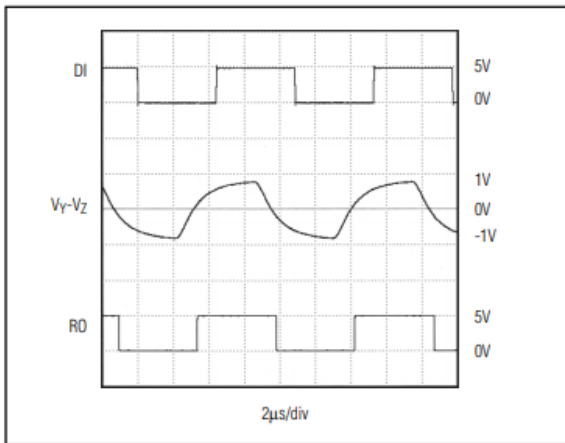


Figure 19. MAX481/MAX485/MAX490/MAX491/MAX1487 System Differential Voltage at 110kHz Driving 4000ft of Cable

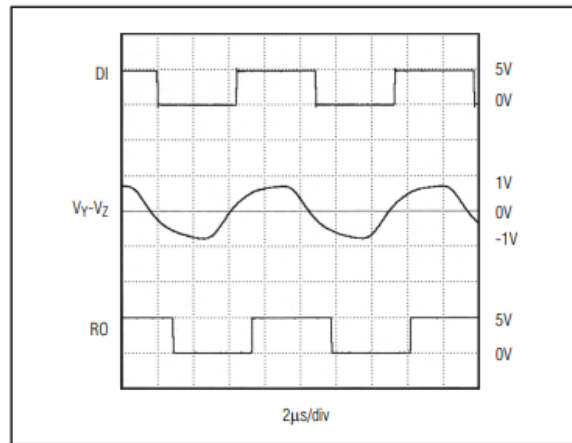


Figure 20. MAX483, MAX487-MAX489 System Differential Voltage at 110kHz Driving 4000ft of Cable

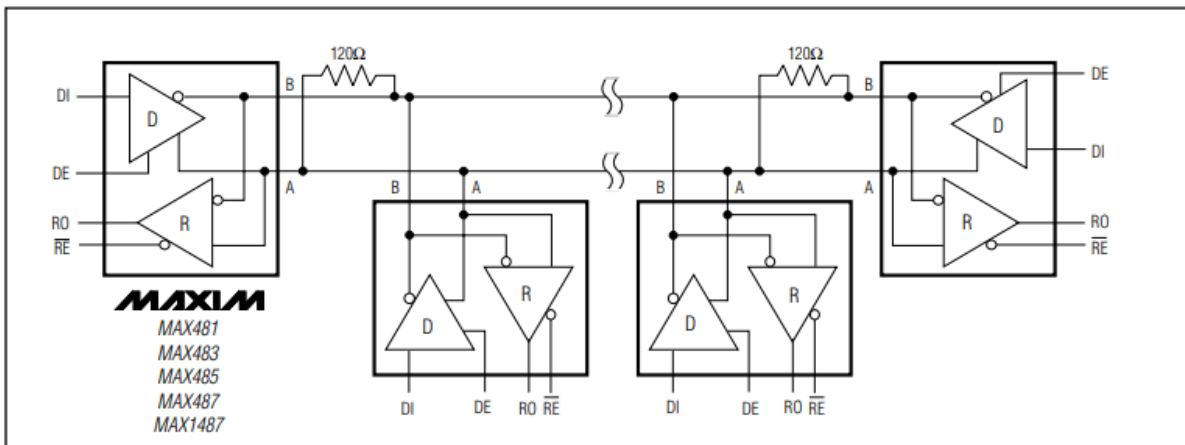


Figure 21. MAX481/MAX483/MAX485/MAX487/MAX1487 Typical Half-Duplex RS-485 Network