



**Diseño e implementación del sistema de control para
mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B
en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad
Antonio Nariño sede Cartagena.**

Henry David Puche Alean

Código: 20440629785

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023.

**Diseño e implementación del sistema de control para
mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B
en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad
Antonio Nariño sede Cartagena.**

Henry David Puche Alean

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electrónico

Director (a):

Ing. Bashir Yacub Bermúdez

Línea de Investigación:

Automatización

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023

(Dedicatoria o lema)

Dedico este logro alcanzado a mi papá, Jairo Puche Tous (QEPD), sé que me ha apoyado y ayudado en algunos momentos importantes en mi vida. A mi mamá que siempre con sus palabras llenas de sabiduría mostrando el camino correcto. A mi esposa Karol Medrano Medina, mis hijos Henry y Samuel Puche por acompañarme en este camino hacia un mejor futuro.

“La mejor forma de enseñar es con el buen ejemplo” - Albert Einstein.

Agradecimientos

El logro de terminar mi carrera profesional me llena de gratitud y a otras personas que tienen un aprecio hacia mí. Agradezco a mi hermano Jairo Puche Alean por su apoyo incondicional en este proyecto, sus ideas, trabajo y preocupación sin él hubiese sido más difícil. A mi hermana Dannys Puche Alean por motivarme y ayudarme cuando más lo necesite. A mi hermana Lucia Puche Alean, un ángel que Dios nos ha regalado para que la cuidáramos en la tierra. A mis amigos Gleimer, Oldrin, Consuelo que están presentes en los momentos importantes de gozo y difíciles de mi vida. A la universidad Antonio Nariño por darme la oportunidad de cumplir este propósito que lo veía perdido. Muchas gracias a los familiares y demás amigos, que estuvieron en este proceso y no los he mencionado. Hay que seguir y nunca parar porque siempre habrá nuevas cosas que aprender y objetivos por alcanzar.

Resumen

El presente proyecto de investigación trata sobre el diseño y la implementación de un sistema de control para accionar los diferentes actuadores que generan los movimientos a la mesa de cirugía marca DT-12B del laboratorio de Biomédica ubicado en las instalaciones de la universidad Antonio Nariño sede Cartagena, este proyecto surge de la necesidad tener un equipo funcional que no podía ser utilizado por daños en las tarjetas del sistema de control.

El presente trabajo describe el proceso de diseño de las tarjetas electrónicas del sistema de control para energizar la bomba hidráulica de 120 Vac y energizar los solenoides de 24 Vdc del cuerpo valvular del sistema de movimiento electrohidráulico implementado en la mesa. Los elementos utilizados para realizar este sistema de control son: el microcontrolador PIC16F628A acompañados con otros componentes tales como optoacopladores, módulos de transmisión y recepción por RF de Arduino, drivers de corriente, tiristores entre otros. La realización de estas tarjetas electrónicas con los elementos seleccionados sustituye la anterior tarjeta de control, brindando nuevas tecnologías, posibilidad de cambiar la programación y secuencia de movimientos, mejorando la capacidad de control sobre el sistema electrohidráulico.

La finalidad es tener una mesa de cirugías operativo en el laboratorio de biomédica que beneficia a la comunidad estudiantil de ingenierías aplicadas de la universidad.

Palabras clave: Actuadores, microcontroladores, PIC, RF, transmisión, recepción, Arduino.

- X Diseño e implementación del sistema de control para mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena.
-

Abstract

This research project deals with the design and implementation of a control system to activate the different actuators that generate the movements of the DT-12B surgical table of the Biomedical laboratory located in the facilities of the Antonio Nariño University, Cartagena, this project arises from the need to have functional equipment that could not be used due to damage to the control system cards.

The present work describes the design process of the electronic cards of the control system to energize the hydraulic pump (120VAC) and energize the solenoids (24VDC) of the valve body of the electro-hydraulic movement system implemented in the table. The elements used to carry out this control system are the PIC16F628A microcontroller accompanied by other components such as optocouplers, Arduino RF transmission and reception modules, current drivers, thyristors, among others. The realization of these electronic cards with the selected elements replaces the previous control card, providing new technologies, the possibility of changing the programming and sequence of movements, improving the control capacity over the electro-hydraulic system.

The purpose is to have an operating surgery table in the biomedical laboratory that benefits the applied engineering student community of the university.

Keywords: Actuators, microcontrollers, PIC, RF Transmitter and receiver.

Contenido

Contenido

Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	13
Lista de tablas	14
Lista de símbolos y abreviaturas	15
1. Introducción	16
1.1. Planteamiento del problema	17
1.2. Justificación	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Alcance y limitaciones.....	21
1.5. Metodología.....	22
2 Marco teórico	25
2.1 Mesas de cirugías.....	25
2.2 Especificaciones y características de la mesa DT-12B	26
2.3 Sistemas de control automático.....	28
2.3.1 Clasificación de los sistemas de control	29
• Sistema de control de lazo abierto.....	29
• Sistema de control de lazo cerrado.....	29
2.4 Microcontroladores.....	30
2.4.1 CPU	31
2.4.2 Memoria Flash de programa	32
2.4.3 Memoria EEPROM de datos.....	34
2.4.4 Memoria RAM de datos.....	34
2.4.5 Modulo USART.....	34
2.4.6 Puertos de entrada y salidas.....	34
2.5 Driver de corriente.....	36
2.6 Optoacopladores	37
2.7 Sistemas hidráulicos.....	38

2.7.1	Actuadoras.....	38
2.7.2	Bomba hidráulica.....	39
2.7.3	Cuerpo Valvular.....	41
2.8	Modulo transistor y receptor.	43
3.	Desarrollo del proyecto.	45
3.1	Aspectos requeridos para el diseño.....	45
3.2	Estado funcional y Mantenimiento de la mesa	45
3.3	Diseño del sistema de control.....	47
3.2.1	Tarjeta controladora de potencia	48
3.1.2	Tarjeta de control local.	55
2.1.3	Tarjeta de control inalámbrico.....	57
4.	Resultados.....	58
4.2	Pruebas de movimientos.	59
5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	62
5.1	Conclusiones.....	62
5.2	Recomendaciones.	63
6.	Bibliografía	64

Lista de figuras.

Figura 1-1: Diagrama metodología del proyecto.....	22
Figura 2-1: Mesa DT-12B y sus partes	27
Figura 2-2: Sistema de control lazo abierto	29
Figura 2-3: Sistema de control lazo cerrado.	29
Figura 2-4: Diagrama de pines PIC16F628A.....	30
Figura 2-5: Diagrama de bloques de la CPU del PIC 16f628A	31
Figura 2-6: estructura interna de la memoria de programa del PIC16F628A.	33
Figura 2-7: Descripción de los pines del PIC16F628A	35
Figura 2-8: Distribución de pines TIP31C	36
Figura 2-9: Distribucion de pines PC817.....	37
Figura 2-10: Distribución de pines MOC3021	37
Figura 2-11: Típico de montaje de un sistema hidráulico.	38
Figura 2-12: Actuadores integrado a mesa DT-12B.	39
Figura 2-13: Aspecto físico de la bomba hidráulica de la mesa.	41
Figura 2-14: Circuito interno del cuerpo valvular.	41
Figura 2-15: Cuerpo valvular	42
Figura 2-16: Diagrama del sistema hidráulico implementado en la mesa DT-12B.	43
Figura 2-17: Módulos Transmisor y receptor.	44
Figura 3-1: Evidencias del mantenimiento general y correctivo de componentes la mesa de cirugías.....	46
Figura 3-3: Circuito esquemático.....	51
Figura 3-4: Implementación física de la tarjeta de potencia y controladora.	51
Figura 3-8: Circuito esquemático tarjeta de control local.....	56
Figura 3-9: Aspecto físico de la tarjeta de control local.	56
Figura 3-10: Circuito esquemático tarjeta de control inalámbrico.	57
Figura 3-11: Aspecto físico de la tarjeta de control inalámbrico.	58
Figura 3-1: Tarjeta de control instalada y energizada.....	58

Lista de tablas

Tabla 2-2: Especificaciones del transistor TIP31C	36
Tabla 2-3: Especificación de la bomba hidráulica	40
Tabla 2-4: Especificaciones modulo transmisión y receptor	44
Tabla 3-1: Relación de pines del microcontrolador y el accionamiento de los actuadores.	49
Tabla 3-2: Comparativa de entre los microcontroladores	49
Tabla 3-3: Descripción de símbolos de movimientos.	55
Tabla 4-1: Movimientos de la mesa de cirugías.	60

Lista de símbolos y abreviaturas.

Abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>ASK</i>	Modulación por desplazamiento de amplitud.
------------	--

<i>RF</i>	Radio frecuencia
-----------	------------------

<i>SFR</i>	Registro de propósito general
------------	-------------------------------

<i>MHz</i>	Mega Hertz
------------	------------

<i>Kg/mc²</i>	kilogramo sobre centímetro cuadrado
--------------------------	-------------------------------------

1.Introducción

“La Ingeniería Biomédica en la Universidad Antonio Nariño se concibe como la aplicación de conocimientos en ciencias exactas y de ingeniería a la solución de problemas en medicina y biología. EL programa de estudios involucra la formación de ingenieros biomédicos con competencias para identificación de problemas de acuerdo con las necesidades presentes en el contexto nacional e internacional donde se requiere la intervención de ingenieros biomédicos, con un fuerte componente en el fortalecimiento de habilidades para investigación, desarrollo e innovación [1].

De esta forma, el ingeniero biomédico es uno de los responsables de operar, ajustar, corregir y mantener en estado funcional todo el equipamiento biomédico y de capacidad instalada en las entidades prestadoras del servicio de salud. Uno de los criterios tenidos en cuenta para la evaluación de la prestación del servicio de salud en un país o región es la capacidad instalada, que hace referencia a la disponibilidad de infraestructura necesaria para producir un bien o servicio. Su magnitud es una función directa de la cantidad de producción que puede suministrarse [2].

En lo que tiene que ver con la prestación del servicio de salud, dentro de la capacidad instalada de las IPS se contabilizan la cantidad de mesas de cirugías con que cuenta una ciudad, región o país. De acuerdo con Datos Abiertos [3], en el departamento de Bolívar se contabilizan unas 154 mesas de cirugías, distribuidas entre sus municipios, en donde el municipio de Cartagena cuenta con cerca del 82% del total de ellas. El funcionamiento y la correcta operación de estas mesas de cirugías están a cargo de los ingenieros biomédicos. Por esta razón los ingenieros biomédicos en formación en su proceso de aprendizaje requieren de este tipo de equipamiento biomédico para su entrenamiento.

En las universidades es necesario que en los laboratorios el equipamiento de prácticas sea funcional de tal manera que permita al estudiante interactuar y practicar con base a mejorar sus capacidades. El poder habilitar la mesa de cirugía DT-12B en el laboratorio de Biomédica y tenga todos sus movimientos habilitados (altura, inclinación de espalda, lateral, trasversal y orientación) es primordial en el laboratorio y el equipo de profesores y

estudiantes puedan realizar prácticas de la mejor forma. Este proyecto brinda la oportunidad de conocer una herramienta necesaria en los quirófanos y salas de cirugía de los hospitales y clínicas.

Además, en este proyecto se aplican varias líneas de la ingeniería electrónica cursadas a lo largo de la carrera como son: automatización, control, diseño de circuitos, electrohidráulica, programación y manejo de software que ayudaron en la realización exitosa del proyecto.

1.1. Planteamiento del problema

Actualmente la UAN sede Cartagena en el Laboratorio de Biomédica cuenta con una mesa de cirugía marca DT12-B, modelo 2009 empleada en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Biomédica. Esta mesa de cirugía se encuentra fuera de servicio, se observa que el sistema de control no funciona y sus componentes mecánicos requieren mantenimiento correctivo. La tarjeta de control está diseñada con componentes electrónicos obsoletos, que no se encuentran disponibles en el mercado nacional. Sus componentes, debido a los años de uso de la misma, evidencian envejecimiento, lo que aumenta la probabilidad de fallos. Además, la fuente de poder es simple y vulnerable a cambios de voltaje que afectan los componentes. Para poner en funcionamiento esta mesa de cirugía se requiere de una actualización tecnológica del sistema electrónico que controlan los actuadores que proporcionan los diferentes movimientos de la mesa. Los movimientos en una mesa de cirugía son tan importantes como los instrumentos que se utilizan en un procedimiento médico. Los movimientos permiten colocar al paciente en una posición adecuada para el procedimiento o comodidad del cirujano o médico del procedimiento clínico. Por otra parte, la fuente de poder, que es la encargada de suministrar la potencia para los actuadores requiere ser reemplazada por una fuente de tipo conmutada, que es de mejor desempeño y menos vulnerable a cambios de voltaje.

La bomba de aceite requiere de mantenimiento preventivo y correctivo, de igual forma, los gatos hidráulicos y las articulaciones se deben engrasar. Actualmente no se cuenta con un manual de servicio o instrucciones que indique la correcta manipulación de la mesa.

La mesa DT12-B Motor-driven Operating proporciona una excelente facilidad de uso clínico. Está diseñada con una altura menor a 498 mm, especialmente para neurocirugía y cirugía mínimamente invasiva, además de tener una cubierta de base más funcional puede ser extensamente utilizada en las operaciones de cerebro, operaciones de pecho, operaciones de abdomen, oftalmología, Oto laringología, obstetra y ginecología, urología, ortopedia, radiología, microcirugía, etc., en un hospital [4].

En los nuevos modelos de mesa de cirugía, como la DT-12D, se observan controles de mando inalámbricos que mejoran el desempeño de la mesa, evita enredos con los demás componentes y facilita la operación por parte del operador, por lo que se hace necesario implementar esta innovación y actualizar la tecnología en la mesa mencionada. Por las anteriores razones se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar e implementar el sistema de control de movimientos de la mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B ubicada en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena?

1.2. Justificación

La realización del presente proyecto estuvo orientado a la puesta en operación de una mesa de cirugía DT-12B, la cuál es importante en el proceso de aprendizaje de los futuros ingenieros biomédicos de la Universidad Antonio Nariño, institución pionera a nivel nacional en la educación de Ingeniería Biomédica. La puesta en operación de la mesa de cirugía DT12-B para el laboratorio de ingeniería Biomédica abre la posibilidad a los estudiantes de tener una experiencia con un equipo que se encuentra frecuentemente en el campo laboral, como en hospitales y clínicas.

Por antigüedad y costos de la mesa DT12-B se dificulta encontrar y adquirir los repuestos necesarios para habilitar la dicha mesa, por tal razón, se ha optado por emprender este proyecto y realizar con un presupuesto asequible para poner a disposición del laboratorio de biomédica de la universidad UAN.

Este proyecto tiene la capacidad de generar una oportunidad de emprender un servicio especializado en ofrecer soporte de mantenimiento y reparación a los hospitales y clínicas que utilicen este tipo mesas de cirugías o similares, tales como la MINDRAY HYBASE 6100.

La mesa cuenta con un sistema de control electrónico actualizado con tecnologías modernas, la ventaja de implementar un microcontrolador al sistema es la flexibilidad que se puede tener para accionar los movimientos como velocidad y posición, la tarjeta de control cuenta con salidas transistorizadas, el aislamiento eléctrico entre la etapa de potencia y de control por medio de optoacopladores, la implementación de un control inalámbrico, el mantenimiento general le proporciona a los alumnos y profesores un herramienta confiable y pedagógica en el laboratorio de biomédica.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar el sistema de control de movimientos de la mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena.

1.3.2. Objetivos específicos

-Determinar el estado funcional y operativo de los diferentes componentes eléctricos, electrónicos, hidráulicos y mecánicos de la mesa de cirugía DT-12B.

-Realizar mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas electrohidráulicos que componen la mesa.

-Diseñar la tarjeta de control, mando de control local y remoto, de los actuadores que proporcionan los movimientos de la mesa de cirugía.

- Implementar el circuito de control realizando la integración de todos los componentes del sistema para el funcionamiento de la mesa de cirugías.

- Elaborar un manual de operación de la mesa de cirugías donde se contemple el sistema de control implementado.

1.4. Alcance y limitaciones

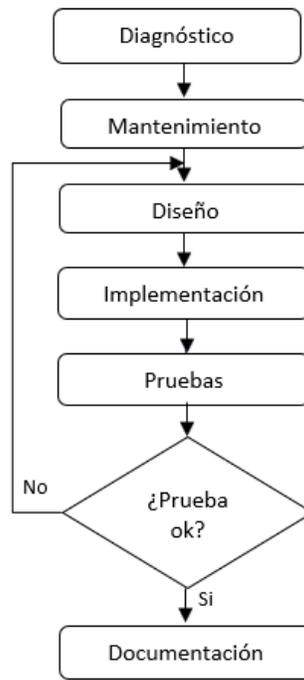
Este proyecto se centra básicamente en la puesta en operación de la mesa de cirugía DT12-B. La puesta en servicio de esta mesa comprende las siguientes acciones y actividades:

- Diseño, construcción e implementación de las tarjetas electrónicas del sistema de control, implementado microcontroladores.
- Implementación del control de mando, local y remoto.
- Mantenimiento general correctivo hasta lograr la completa funcionalidad de la mesa.
- Mantenimiento general preventivo a todos los componentes de la mesa de cirugía.
- Elaboración de manuales y documentación de operación de la mesa de cirugía con el nuevo sistema de control diseñado e implementado.

1.5. Metodología

Se diseño e implementación del sistema de control de la mesa de cirugía siguiendo el procedimiento que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1-1.

Figura 1-1: Diagrama metodología del proyecto.



Fuente: Elaborada por el autor

El procedimiento metodológico realizado se dividió en las siguientes fases:

- Etapa de Diagnóstico: En esta etapa se realizaron los estudios necesarios para comprender el funcionamiento y verificar el estado funcional de los componentes de la mesa de cirugía. Se consultaron diferentes fuentes de información como manuales, artículos, páginas web, entre otras.

-
- Etapa de mantenimiento: en esta etapa se realizará mantenimiento preventivo y correctivo a los componentes de la mesa, buscando reutilizar la mayor cantidad de componentes. Esto incluye la bomba hidráulica, electroválvulas, gatos hidráulicos y de más piezas mecánicas.
 - Etapa de diseño: Teniendo las especificación y características técnicas de la mesa de cirugía DT12-B y entendiendo el funcionamiento se procedió a diseñar la tarjeta de control. Se utilizó un microcontrolador con el número de puertos de E/S suficientes para el manejo de las diferentes electroválvulas, encargadas de los movimientos de la mesa. También se encargará de recibir señales de control provenientes del mando o control manual y de un control remoto de acuerdo con los requerimientos del operador.
 - Etapa implementación: En esta fase se ejecuta la implementación del sistema de control diseñado, se realiza el ensamble de piezas en la tarjeta de control, se realizan las conexiones eléctricas e hidráulicas, se implementa el mando de control remoto y por cable.
 - Etapa de Pruebas: En esta etapa se realizaron las pruebas de funcionamiento acorde con las especificaciones de diseño, consistió en la ejecución de los diferentes movimientos de la mesa, desde el mando de control remoto y local. En esta etapa se realizaron los ajustes finales de todo el sistema, garantizando el funcionamiento completo de la mesa.
 - Etapa de documentación: En esta etapa se hizo la documentación del proceso de ejecución del proyecto.

2 Marco teórico

2.1 Mesas de cirugías.

Una mesa de operaciones es un equipo médico que cumple una serie de normas precisas, cuya función es posicionar al paciente durante una intervención quirúrgica, ella posee estándares específicos para la posición clínica deseada. Está formada por una plataforma dividida en secciones, donde el paciente puede sentarse o acostarse. Posee también brazos; un control remoto que ajusta las posiciones del paciente en relación con el cirujano, la inclinación de la mesa y la altura; y otros accesorios que contribuyen a la estabilidad de cada posición [5].

Las mesas deben estar estables y confortables, debe tener un acolchonado estable y una base electrohidráulica. Deben ser adecuadas para cada tipo de operación, por ello tiene un mando que regula sus movimientos, los cuales son: movimientos de altura, inclinación del espaldar, inclinación lateral a ambos lados, trendelenburg y anti-tren.

En la actualidad existen mucho tipos y modelos de mesas de cirugías manuales, eléctricas, hidráulicas y electrohidráulicas, que se han ido desarrollando en el transcurso de los años, a continuación, se mencionaran algunas y su funcionalidad:

- JT1: conveniente para operaciones en la cabeza, abdomen, pecho, etc. Tanto en la cirugía general como urología.
- JT2-A: sirve para resolver la mayoría de las necesidades quirúrgicas.

-
- DT-12B: indicada para cirugías de abdomen torácicas, cerebral, ginecológicas y obstetra.
 - DT-12D tiene la misma función que la anterior, añadiéndole la cirugía uróloga y cuenta con un control remoto inalámbrico.
 - CC1: es una mesa especial enfocada al momento del parto.
 - JT-3: diseñadas para las operaciones de tórax, abdomen, ginecológicas, obstétricas y oftalmológicas [6] .
 - La mesa HyBase 6100: Es una de la mesa de cirugías más completas del mercado, se puede utilizar en casi todos los procedimientos quirúrgicos, además es funcional con el arco en C.

2.2 Especificaciones y características de la mesa DT-12B

- Sistema Hidráulico integrado.
- Hecha de acero inoxidable superior para la base y el sistema de apoyo de la tabla hace que la limpieza y la esterilización sea fácil. El diseño ergonómico que provee la tabla es acolchonado. Todo el colchón es hecho de caucho del poliéster.
- La sección trasera de la tabla es movable, en la cual se puede elevar y se puede acceder para la operación de riñón o la vesícula biliar.
- Las superficies de la tabla son hechas del plexiglás, poniendo una película de radiografía entre parte superior y la cubierta inferior de la tabla, la examinación de radiográfica puede ser realizada sin el traslado de mesa del paciente.

- Todas las abrazaderas para fijar y los accesorios son desmontables y fáciles de utilizar.
- Las especificaciones técnicas se muestran en la siguiente tabla (TABLA 2-1) y el aspecto físico de la mesa se muestra en la Figura 2-1.

Tabla 2-1: Especificaciones técnicas mesa DT-12B

Especificaciones técnicas principales	DT-12B
Dimensiones de mesa	2070*480mm
La altura de la tabla	Min. 650mm la altura de elevación, la distancia>220mm
El movimiento de lateral	La izquierda>15°, hacia la derecha>15°
Trendelenburg/retroceso trendelenburg	Adelante>15°, 15°hacia atrás.
La sección espaldar.	Hacia arriba>75°, ajustable ligeramente hacia abajo
Sección Head_up/down	Hacia arriba>35 hacia abajo, >90°, desmontable
La sección de la pierna	Tipo bifurcado, el ángulo de 180° (90° a ambos lados), hacia abajo 90°, desmontable.
Elevación del puente de riñón	>80/100/120mm (contra el orden)
Fuente de alimentación:	120VAC, 60Hz
Motor eléctrico	Fase de Singel, paso defferential, 370W 1400rpm

Fuente: https://es.made-in-china.com/co_smiiec/product_Electrical-Operating-Table-DT12-B-_ruornheog.html [4]

Figura 2-1:Mesa DT-12B y sus partes



1-Base, 2- Columna, 3- Espaldar, 4- Asiento, 5- Extensiones, 6- Cabezal, 7- Rieles porta accesorios, 8- Sistema de bloqueo de extensiones.

Fuente: Elaborado por el autor

2.3 Sistemas de control automático

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de obtener los resultados deseados.

Todo sistema de control mide y hace algo, el proceso lo realiza el controlador que utiliza programas y referencias (Set-point). Las referencias o parámetros son la parte ajustable del *Software*; son intangibles, no se pueden tocar, y necesitan un soporte físico para memorizarse; y las mediciones, accionamientos y controladores son el *Hardware* que se pueden ver y tocar.

Por nuestra naturaleza humana es útil mencionar por un lado el control manual y por otro el control automático. En el control manual interviene un cerebro consciente que realiza el control, las mediciones son los sentidos, las acciones son musculares, y lo que llamamos mente es el software con sus referencias. -En el control automático el controlador es un dispositivo artificial; que puede ser mecánico, electrónico, químico, etc; que fue

“programado” para realizar su tarea según referencias; recibe las mediciones y actúa sobre los accionadores [7].

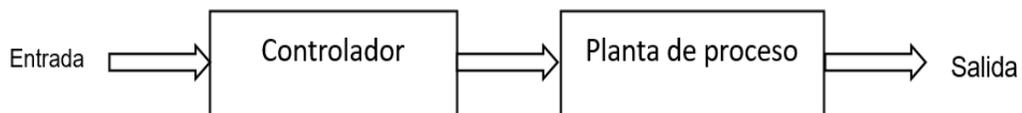
2.3.1 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control pueden ser de lazo abierto o de lazo cerrado basado en que la acción de control que sea independiente o no de la salida del sistema que se desea controlar.

- **Sistema de control de lazo abierto.**

Es aquel sistema en el cual la salida no tiene efecto sobre el sistema de control, esto significa que no hay realimentación de dicha salida hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control [7]. La Figura 2-2 muestra en forma general el diagrama de bloque de un sistema de control de lazo abierto.

Figura 2-2: Sistema de control lazo abierto

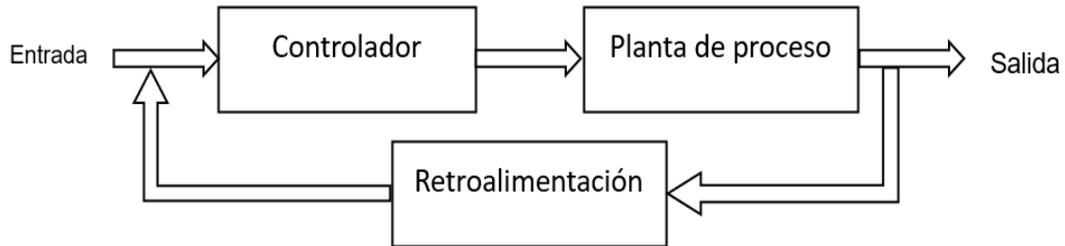


Fuente: Elaborado por el autor.

- **Sistema de control de lazo cerrado.**

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida; es decir, en los sistemas de control de lazo cerrado o sistemas de control con realimentación, la salida que se desea controlar se realimenta para compararla con la entrada (valor deseado) y así generar un error que recibe el controlador para decidir la acción a tomar sobre el proceso, con el fin de disminuir dicho error y por tanto, llevar la salida del sistema al valor deseado [7]. La Figura 2-3 muestra en forma general el diagrama de bloque de un sistema de control de lazo cerrado.

Figura 2-3: Sistema de control lazo cerrado.



Fuente: Elaborado por el autor.

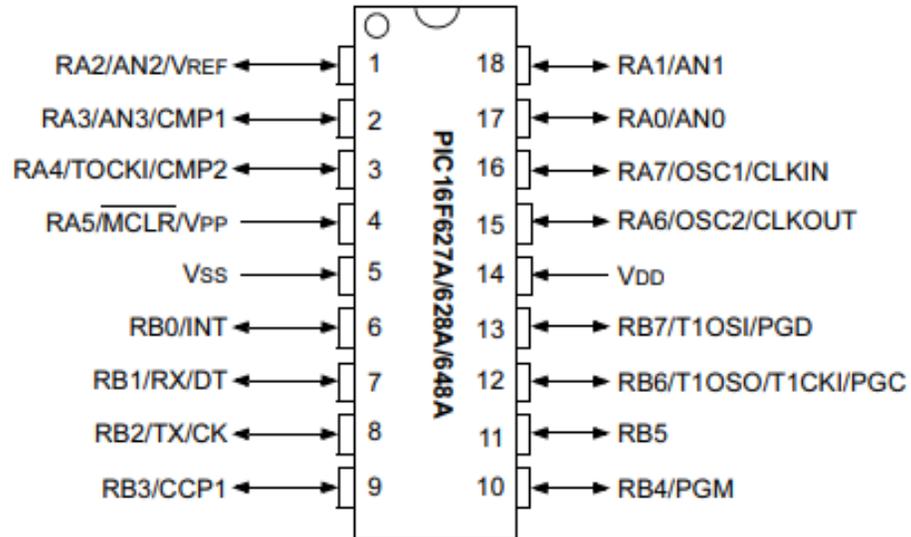
2.4 Microcontroladores.

Microchip fabricó los PIC, microcontroladores o circuitos integrados programables con una arquitectura computacional de tipo RISC. El nombre exacto es PICmicro pero se le da el significado de Peripheral Interface Controller o Control de Interfaz Periférico. Como todo microcontrolador contienen en su interior unidades de memoria RAM y ROM, pero uno de los componentes que destacan en los PIC es su ALU (Unidad Aritmética Lógica) [8].

En la actualidad los PIC son los más utilizados cuando se trata de incursionar en el mundo de los microcontroladores ya que tienen muchísimas aplicaciones debido a que estos poseen varios módulos en su interior como la comunicación serial, UART, modulo PWM, convertidor análogo/digital, comparadores, entre otros.

En la Figura 2-4 se muestra el diagrama de pines. El microcontrolador consta de diferentes bloques; CPU, memoria FLASH de programa, memoria EEPROM de datos, memoria RAM de datos y puertos de entrada y salidas.

Figura 2-4: Diagrama de pines PIC16F628A

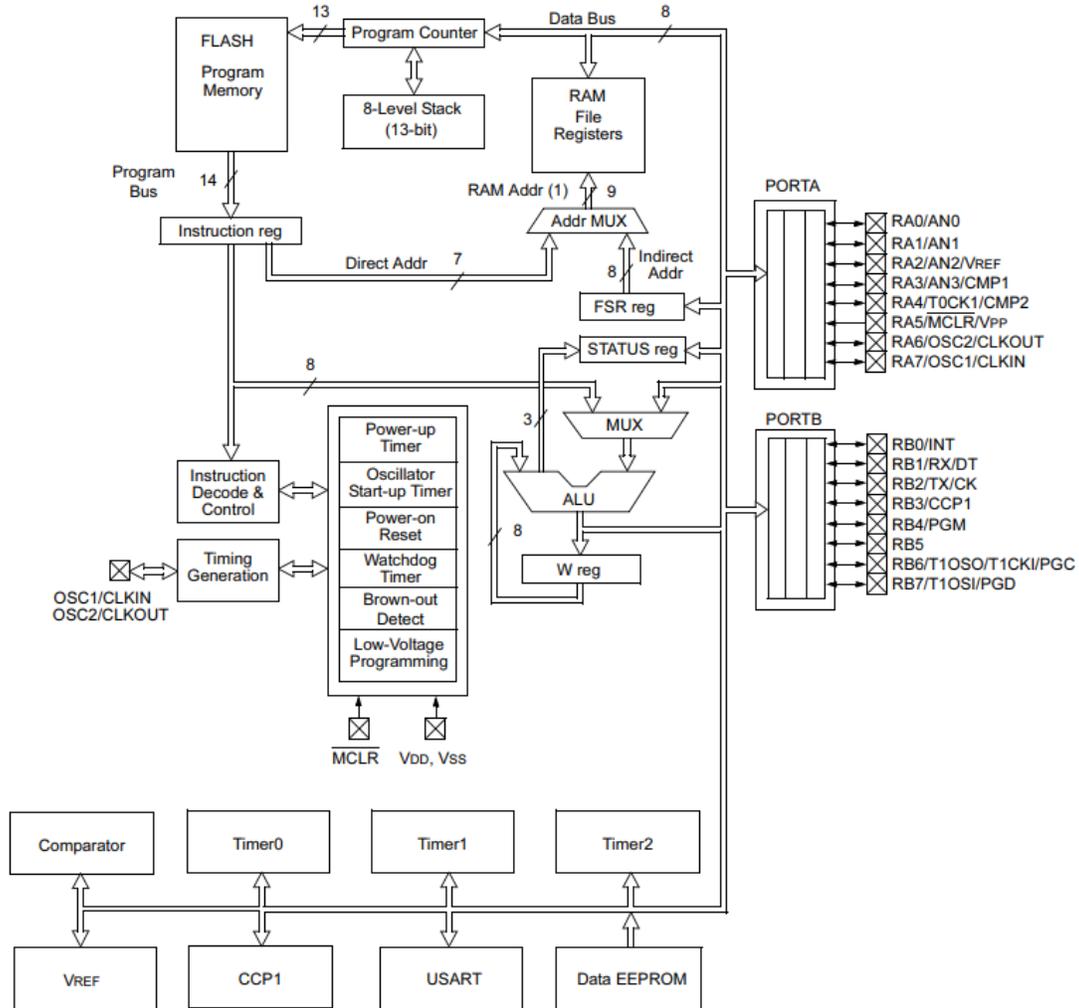


Fuente: [PIC16F628A Datasheet \(PDF\) - Microchip Technology \(alldatasheet.com\)](#) [8]

2.4.1 CPU

Por sus siglas en inglés, unidad central de proceso, es el núcleo del microcontrolador encargado de ejecutar las instrucciones almacenadas en la memoria ROM. La CPU de los microcontroladores tiene características especiales para hacer frente a las necesidades en tiempo real de las aplicaciones minimizando costos ya que no se necesitan de componentes externos. La Figura 2-5 muestra el diagrama de bloques de la CPU del PIC16F628A.

Figura 2-5: Diagrama de bloques de la CPU del PIC 16f628A



Note: Higher order bits are from the STATUS register.

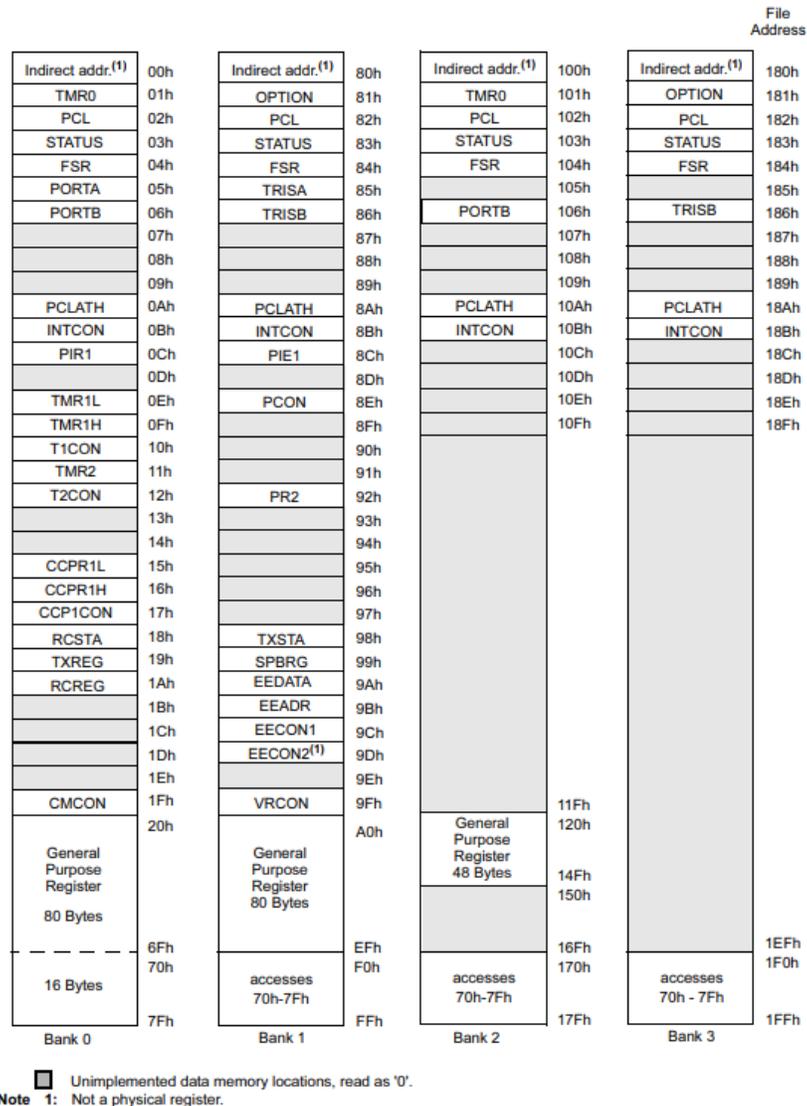
Fuente: PIC16F628A Datasheet (PDF) - Microchip Technology (alldatasheet.com) [8]

2.4.2 Memoria Flash de programa

En esta memoria se almacena el programa. HEX del microcontrolador. Es un tipo de memoria que puede ser borrada y reprogramada eléctricamente, este nos permite que el mismo dispositivo pueda ser utilizado en el desarrollo de prototipos, programas piloto

y de producción. Una de las grandes ventajas de esta memoria Flash es que puede ser borrada y reprogramada en el circuito o en el dispositivo de programación con los programadores de Microchips PICSTARS° PLUS o PRO MATE II [8]. La Figura 2-6 muestra la estructura interna de la memoria de programa del PIC 16F628A.

Figura 2-6: estructura interna de la memoria de programa del PIC16F628A.



Fuente: PIC16F628A Datasheet (PDF) - Microchip Technology (alldatasheet.com)[8]

2.4.3 Memoria EEPROM de datos

Esta memoria se lee y se rescribe durante la normal operación del PIC, esta memoria no es directamente mapeada en los espacios de registros, se accede a ella indirectamente a través de los registros de funciones especiales SFR.

2.4.4 Memoria RAM de datos

Este tipo de memoria se utiliza para almacenar la información que la CPU que necesita para ejecutar el programa almacenado en la memoria FLASH.

2.4.5 Modulo USART

Otra de las funciones importantes con la que cuentan los microcontroladores es el módulo USART (Transmisor y receptor síncrono y asíncrono universal) también conocido como interface de comunicación serial o CSR. La USART puede ser configurada como sistema full-duplex asíncrono que puede comunicarse con otros microcontroladores de forma serial y computadores personales o puede configurarse como un sistema half-duplex síncronos que puede comunicarse con dispositivos tales como los circuitos integrados, PIC, A/D o D/A, EEPROM seriales, etc.

2.4.6 Puertos de entrada y salidas.

Los microcontroladores pueden tener varios puertos que funcionan como entradas y salidas (I/O). Algunos de los pines de cada puerto son de múltiples funciones dependiendo las características del dispositivo. Cuando el pin del puerto es programado para una de estas funciones especiales no puede ser utilizado como un

pin para el propósito general (I/O). La Figura 2-7 muestra la descripción de los pines de los puertos del PIC 16F628A.

Figura 2-7: Descripción de los pines del PIC16F628A

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear. When configured as MCLR, this pin is an active low RESET to the device. Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD during normal device operation.
	VPP	—	—	Programming voltage input.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	—	XTAL	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode.
	CLKOUT	—	CMOS	In RC/INTOSC mode, OSC2 pin can output CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. RC biasing pin.
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O.
RB3/CCP1	RB3	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM I/O

Legend: O = Output
 — = Not used
 TTL = TTL Input

CMOS = CMOS Output
 I = Input
 OD = Open Drain Output

P = Power
 ST = Schmitt Trigger Input
 AN = Analog

Fuente: PIC16F628A Datasheet (PDF) - Microchip Technology (alldatasheet.com)[8]

2.5 Driver de corriente.

En general un driver de corriente puede ser transistor que es un dispositivo electrónico semiconductor que puede ser utilizado como un interruptor o amplificador de corriente o voltaje.

Para el proyecto se seleccionó el transistor TIP31C ya que cumple con las especificaciones necesarias de operación con la función de hacer la interface para suministrar la corriente requerida, 0.6Amp, y activar las electroválvulas del cuerpo valvular. En la Tabla 2-2 se muestran las especificaciones principales y en la Figura 2-8 su aspecto físico y distribución de pines del transistor TIP31C. Una ventaja de utilizar transistor y no relés de contacto es que no hay peligro durante el empleo de gases anestésicos inflamables

Tabla 2-1: Especificaciones del transistor TIP31C

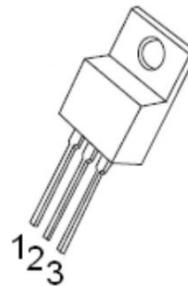
	Símbolos	TIP31C	Unidad
Voltaje colector -emisor	VCEO	40	V
Voltaje colector -base	VCBO	40	V
Voltaje base-emisor	VEBO	5.0	V
Corriente de colector	Ic	3.0	A
Corriente de base	IB	1.0	A
Disipación total de potencia	PD	40	W
Rango de temperatura en operación y almacenamiento	TJ, TSTG	-65 a 150	°C

Fuente: Elaborada por el autor.

Figura 2-8: Distribución de pines TIP31C

TO-220-3L

1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER



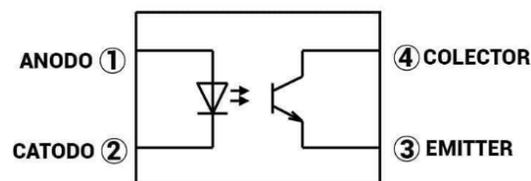
Fuente: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/968896>[9]

2.6 Optoacopladores

Un opto acoplador, también llamado optoaislador, es un circuito encapsulado electrónico capaz de aislar eléctricamente dos circuitos electrónicos pero unirlos por medio de emisión de luz producida por un led y un semiconductor que se activa y se desactiva al por el led emisor y deja pasar corriente actuado como un interruptor.

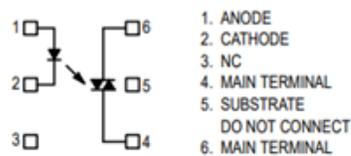
Existen numerosos tipos y modelos de optoacopladores, pero en este proyecto se utilizaron dos tipos: el opto transistor PC817, Figura 2-9, y el opto triac MOC3021, Figura 2-10.

Figura 2-9: Distribución de pines PC817



Fuente: PC817 pdf, PC817 Description, PC817 Datasheet, PC817 view ::: ALLDATASHEET ::: [10]

Figura 2-10: Distribución de pines MOC3021



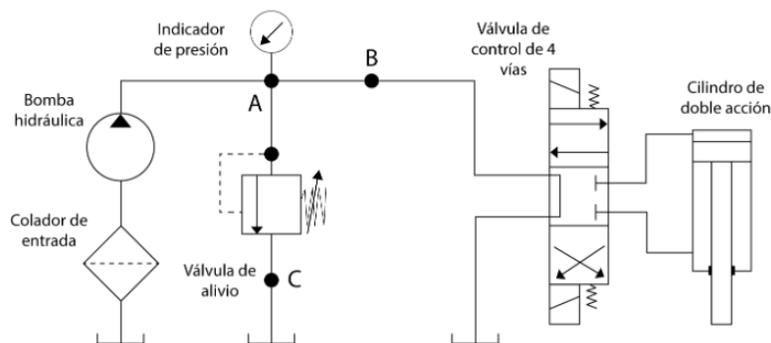
Fuente: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5039/MOTOROLA/MOC3021.html>[16]

2.7 Sistemas hidráulicos.

Los sistemas hidráulicos son aquellos conjuntos de mecanismos en los que interviene un elemento líquido. Para lograr este mecanismo son necesarios los movimientos de una serie de piezas que ayudan a que los sistemas hidráulicos funcionen.

Es necesario describir la composición de los sistemas hidráulicos para entender su funcionamiento. De forma general, los sistemas hidráulicos están compuestos por ciertos elementos básicos como: Bomba hidráulica, colador de entrada (filtro), válvula de alivio, válvula de 4 vías (Cuerpo valvular), cilindro de doble acción (actuador) [11]. La Figura 2-11 muestra un típico de montaje de un sistema hidráulico.

Figura 2-11: Típico de montaje de un sistema hidráulico.



Fuente: <https://www.ashm.mx/blog/revision-del-sistema-hidraulico/>[12]

2.7.1 Actuadoras

Un actuador es un dispositivo que convierte la energía en movimiento o que se utiliza para aplicar fuerza. El dispositivo toma energía de una determinada fuente (que puede ser energía creada por aire, líquido o electricidad) y la convierte en el movimiento deseado. Los dos tipos de movimiento básico deseados son lineal y rotativo, pero también es común el movimiento oscilatorio. Los actuadores lineales trabajan convirtiendo energía en movimientos lineales rectos, los cuales sirven para empujar o tirar. Los actuadores rotativos, por otro lado, convierten la energía en movimientos oscilatorios y se utilizan, en general, en distintas válvulas, como las de mariposa o de bola [13].

Los actuadores se categorizan según la fuente de energía que utilizan para generar el movimiento. Como, por ejemplo:

- Los actuadores neumáticos utilizan aire comprimido para producir el movimiento deseado.
- Los actuadores hidráulicos utilizan líquido para generar movimiento.
- Los actuadores eléctricos usan una fuente de energía externa, como una batería, para producir movimiento.
- Los actuadores térmicos utilizan la energía calorífica o magnética para producir el movimiento deseado.

La mesa de cirugía cuenta con actuadores lineales que proporcionan los movimientos requeridos. La Figura 2-12 se muestran los actuadores integrados a la mesa.

Figura 2-12: Actuadores integrado a mesa DT-12B.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.7.2 Bomba hidráulica.

La bomba hidráulica es uno de los componentes más importantes de un sistema hidráulico, debido a que su función resulta en precisión y eficiencia. Convierte la energía mecánica del motor en energía en forma de flujo de aceite, expresado en galones por minuto (GPM); estos, determinan la velocidad en que el sistema operará. Su funcionamiento consiste en producir el

flujo requerido para la creación de presión, que es una función de resistencia de flujo de fluidos en el sistema hidráulico. Creando un vacío en la entrada de la bomba que permite que la presión atmosférica fuerce el líquido desde el depósito a la línea de entrada a la bomba. Si está conectada a un sistema, la presión del fluido en la salida de la bomba se elevará al nivel y dirección necesarios para superar la resistencia de la carga [16].

La mesa de cirugías cuenta con una bomba hidráulica que proporciona la energía necesaria para accionar los actuadores y un tanque de almacenamiento de aceite hidráulico, SAE140. Las especificaciones de la bomba se describen en la Tabla 2-3 y en la Figura 2-13 se muestra físicamente.

Tabla 2-2: Especificación de la bomba hidráulica

Marca	Charger
Modelo	CGL7,5L
Voltaje de alimentación	115 Vac
Frecuencia	50/60 HZ
Corriente	5,4/4,6 Amp
Presión de descarga	60Kg/cm ²
Capacitor	0.4p-0.2kw

Fuente: Propia del autor.

Figura 2-13: Aspecto físico de la bomba hidráulica de la mesa.



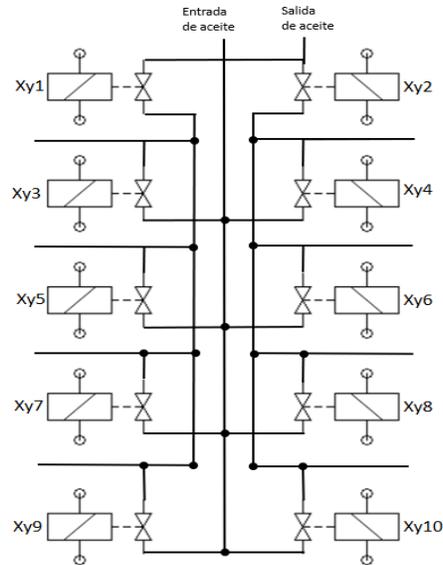
Fuente: Propia del autor

2.7.3 Cuerpo Valvular.

El cuerpo valvular está conformado por un número determinado de válvulas que se conectan entre sí por conductos internos del cuerpo, dependiendo los requerimientos del diseño. El cuerpo valvular es el encargado de enviar la presión de aceite requerida por los actuadores.

La mesa de cirugías DT-12B cuenta con un cuerpo valvular de diez electroválvulas que funcionan a 24 Vdc y con una corriente de 0.60 Amp, Las electroválvulas si son activadas permiten el paso de aceite a presión La figura 2-14 muestra el circuito esquemático del cuerpo valvular, donde podemos observar, que tiene una entrada de aceite que es impulsado por la bomba a una presión de 60kg/cm^2 y también las electroválvulas, Xy1 y Xy2, que controla la salida de aceite que regresa por los conductos internos al tanque de almacenamiento y las electroválvulas donde se conectan los actuadores, Xy3 hasta la Xy10. La Figura 2-15 muestra el aspecto físico del cuerpo valvular integrado a la mesa de cirugías.

Figura 2-14: Circuito interno del cuerpo valvular.



Fuente: elaborado por el autor.

Figura 2-15: Cuerpo valvular

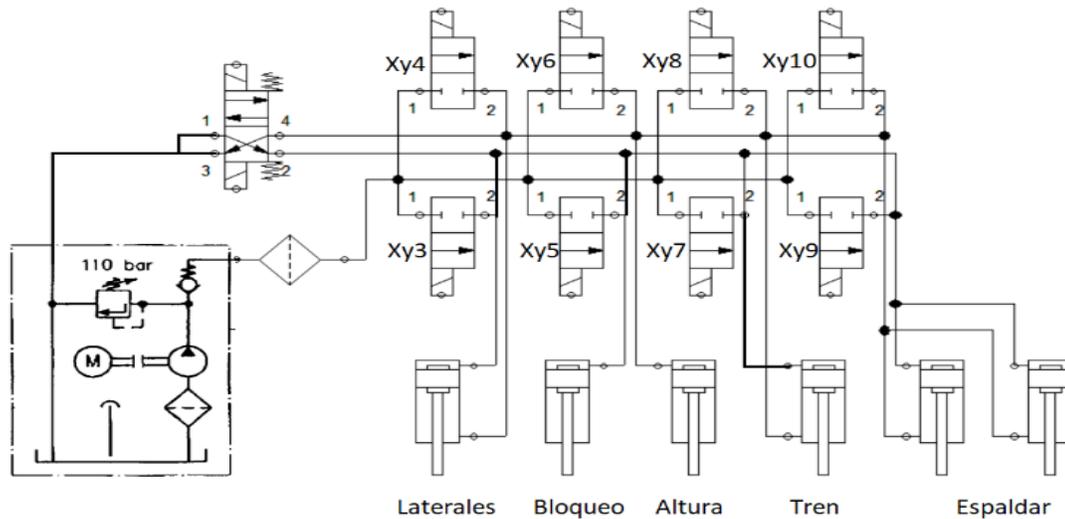


Fuente: elaborado por el autor.

La Figura 2-16, muestra el diagrama del sistema hidráulico implementado en la mesa DT-12B. donde se observa los seis actuadores que generan los movimientos conectados al cuerpo valvular, la bomba que impulsa el flujo hidráulico que pasa por un filtro de malla antes de entrar a los conductos internos del cuerpo valvular, también la válvula reguladora

de alivio que se activa a los 110 psi cuando la presión aumenta dentro del circuito retornando el aceite al tanque de almacenamiento.

Figura 2-16: Diagrama del sistema hidráulico implementado en la mesa DT-12B.



Fuente: Elaborado por el autor.

2.8 Modulo transistor y receptor.

El método de transmisión que se utilizó para implementarlo en el control remoto inalámbrico fue por Radio Frecuencia (RF) y consta de un transmisor y un receptor. El transmisor como su nombre lo indica es el encargado de transmitir los datos o información en una portadora en forma de ondas electromagnéticas, el espectro de las ondas electromagnéticas va desde los 3 KHz hasta los 300 GHz a una velocidad de 300 mil km/s aproximadamente. El receptor cuando se sintoniza con la onda portadora, es el encargado de captar las ondas electromagnéticas enviadas por el transmisor, filtrar la señal y separa la información que se requiera enviar para procesarla, como por ejemplo audio, video, datos, etc.

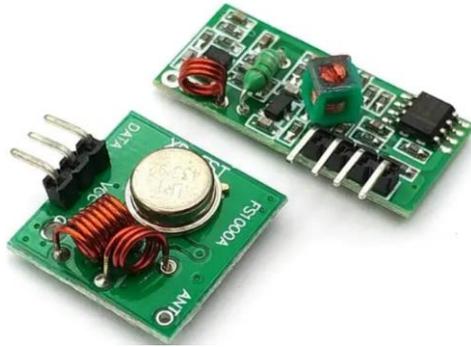
Se utilizaron los módulos Transmisor- receptor por RF 433MHZ de Arduino, módulos transmisores FS1000A y el receptor XY-MK-5V, En la siguiente Tabla 1-4 se muestran alguna especificación y en la Figura 2-17 se muestran los módulos.

Tabla 2-3: Especificaciones modulo transmisión y receptor.

Especificaciones	Receptor	Transmisor
Frecuencia MHz	315-433.92	315-433.92
Modulación	ASK	ASK
Voltaje VDC	5	3-12
Corriente Max. mA	5,5	40
Ancho de banda MHZ	2	2
Potencia de	25mW	25mW
Velocidad kbps	9,6	9,6

Fuente: MODULO TRANSMISOR Y RECEPTOR RF 433MHZ (mactronica.com.co)[14]

Figura 2-17: Módulos Transmisor y receptor.



Fuente: MODULO TRANSMISOR Y RECEPTOR RF 433MHZ (mactronica.com.co)[14]

3. Desarrollo del proyecto.

3.1 Aspectos requeridos para el diseño.

- La superficie del piso donde va colocada la mesa debe ser fuerte, lisa y sin obstáculos alrededor.
- Debe haber cerca un tomacorriente de 110VAC con puesta a tierra, sistema de protección contra corto circuitos.
- Los componentes de la mesa de cirugía deben estar en buenas condiciones físicas sin fisuras ni fugas de aceite.
- Los componentes electrónicos deben ser lo suficientemente eficiente para soportar las exigencias de operación de la mesa.
- Implementar una fuente de alimentación que suministre 5VDC, 24VDC requeridos para el funcionamiento de las tarjetas electrónica y componentes eléctricos. Los diez solenoides se alimentan con 24 Vdc para activarlas y tienen un consumo de 0.6 Amp por lo cual la fuente de 24 Vdc debe ser mínimo de 6 Amp
- Hacer el cambio de aceite y suministrar aceite hidráulico SAE 140

A partir del principio de funcionamiento y de los aspectos requeridos se empieza a diseñar el circuito del sistema control adecuado que controle eficientemente este sistema. El diseño del circuito consta de tres tarjetas; una tarjeta de potencia, una tarjeta del control local y otra de control remoto por inalámbrico.

3.2 Estado funcional y Mantenimiento de la mesa

El inspeccionar la mesa de cirugías se encontraba con algunos daños importantes como:

- a. El actuador del movimiento de altura, el cual presentaba fuga por el retenedor superior del embolo. Para corregir este fallo se procedió a realizar el cambio de dicho retenedor.
- b. Los conductos internos del cuerpo valvular estaban tapados con partículas procedentes de algún retenedor deteriorado: para corregir este fallo se realizó un procedimiento de mantenimiento a profundidad; al desarmar se evidencio desgaste en el orín de las electroválvulas y se procedió a cambiarlos.
- c. Se evidencio que la bobina de la solenoide (Xy2) estaba abierta. Se fabricó una nueva bobina con las mismas características del cable y numero de vueltas.
- d. El actuador del bloqueo de la mesa se encontró con el retenedor deteriorado. Se hizo reemplazo del retenedor.
- e. El actuador de doble acción que controla los movimientos laterales de la mesa, también tenía los dos retenedores desgastados y deteriorado. Se hizo reemplazo del retenedor.
- f. Finalmente, se realizó un mantenimiento general del cuerpo y componentes de la mesa. En la Figura 3-1 se muestra evidencia del trabajo realizado.

Figura 3-1: Evidencias del mantenimiento general y correctivo de componentes la mesa de cirugías.





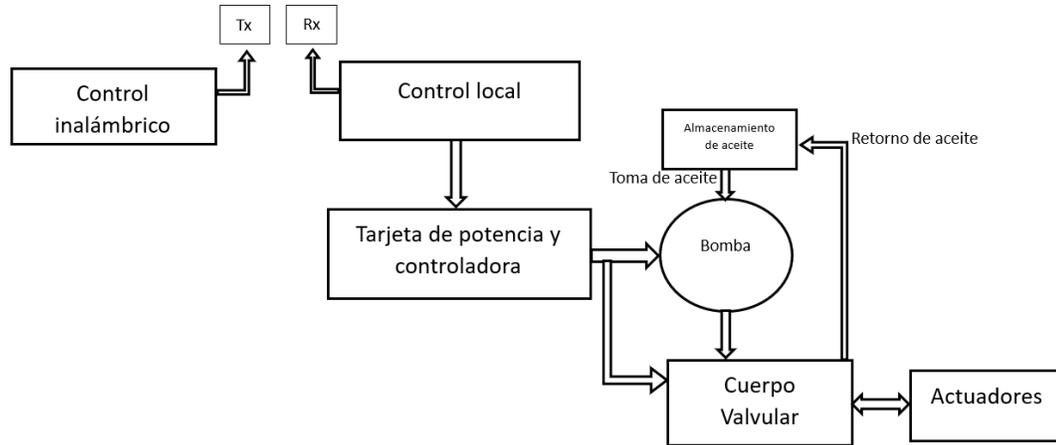
Fuente: Elaborado por el autor.

3.3 Diseño del sistema de control

El sistema electrohidráulico de la mesa de cirugía DT-12B consta de una bomba y seis gatos hidráulicos (actuadores), uno para ajustar la altura, dos para el movimiento del espaldar, uno para el movimiento lateral, uno para frenar las ruedas y uno para el movimiento trendelenburg y anti-tren, un cuerpo valvular conformado por diez electroválvulas y un tanque de almacenamiento de aceite hidráulico.

El funcionamiento del sistema electrohidráulico, dependiendo de cuál sea la instrucción enviada por el usuario, desde los diferentes controles, se activará la bomba hidráulica que enviara aceite con una presión de 60kg/cm^2 por las diferentes mangueras, que dependiendo de cual electroválvula se active, así se impulsara aceite al gato hidráulico que transmitirá movimiento a la articulación mecánica que se requiera para hacer el movimiento deseado. En la Figura 3-2 se muestra el diagrama de bloques de la estructura general del hardware diseñado.

Figura 3-2: Diagrama de bloques del hardware implementado.



Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.1 Tarjeta controladora de potencia

El diseño de la tarjeta controladora comprende un PIC 16F628A, diez transistores TIC31C, diez optoacopladores foto transistor PC817, un optoacoplador fototriac (MOV3021), un triac BTA41600B, entre otros elementos. La Figura 2-3 muestra el diseño del circuito esquemático de la tarjeta y controladora. Como se puede observar los pines del microcontrolador están asociados a las solenoides del cuerpo valvular de la siguiente manera; XY1 = RA0, XY2 = RA1, XY3 = RA7, XY4 = RA6, XY5 = RB6, XY6 = RB7, XY7 = RB5, XY8 = RB4, XY9 = RB0, XY10 = RB3 y BOMBA (M1) = RA3, pasando por los optoacopladores y transistores involucrados.

La tabla 3-1 muestra la secuencia de accionamiento de movimientos con respecto a los pines del microcontrolador.

Tabla 3-1: Relación de pines del microcontrolador y el accionamiento de los actuadores.

Movimiento	RA3/M1	RA0/XY1	RA1/XY2	RA7/XY3	RA6/XY4	RB6/XY5	RB7/XY6	RB5/XY7	RB4/XY8	RB0/XY9	RB3/XY10
Inclinación lateral derecha	X	X		X	X						
inclinación lateral izquierda	X		X	X	X						
Bloque	X		X			X					
Desbloqueo		X				X					
Altura_Subir	X		X				X				
Altura bajar		X					X				
Espaldar_subir	X		X					X	X		
Espaldar_bajar	X	X						X	X		
Trendelenburg	X		X							X	X
Anti-tren	X	X								X	X

Fuente: Elaborado por el autor.

Los microcontroladores tenidos en cuenta para este proyecto fueron el 16f84A, 16f628A y el 16f877A. En la Tabla 3-2 se hace una comparativa entre ellos para el proceso de selección del mismo.

Tabla 3-2:Comparativa de entre los microcontroladores

		PIC16f84A	PiC16f628A	PIC16f877A
Clock	Frecuencia máxima de operación	20MHZ	20MHZ	20MHZ
Memoria	Memoria Flash (words)	1024	2048	8K
	Memoria Ram de datos (bytes)	68	256	368
	Memoria EEPROM de datos (bytes)	64	256	256
Periféricos	Modulo de Timer	No aplica	TMR0,TMR1;TMR2	TMR0,TMR1;TMR2
	Comparadores	No aplica	2	2
	Capture/compar e/ PWM Modules	No aplica	1	2
	Comunicación serial	No aplica	USART	USART
	Voltaje interno de referencia	No aplica	Si	Si
Características	Interrupciones	4	10	35

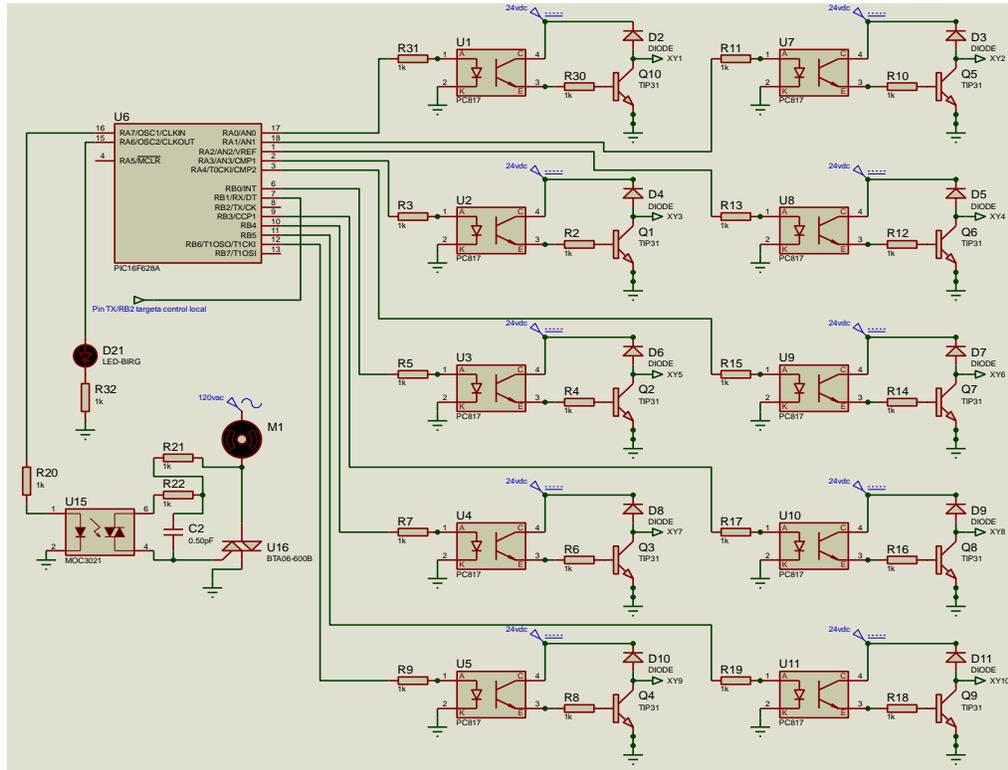
	I/O puertos	Puertos A,B	Puertos A,B	Puertos A,B,C,D,E
	Rango de voltaje dc	3,0-5,5	3,0-5,5	3,0-5,5
	Packages	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

Fuente: Elaborado por el autor

El microcontrolador seleccionado para el diseño e implementación del proyecto es el PIC16F628A, ya que sus especificaciones cubren las necesidades del diseño. Las razones por la cual fue escogido fueron por su tamaño, economía y potente rendimiento, la posibilidad de utilizar el reloj interno, esta característica, permite utilizar dos pines adicionales de I/O y cuenta con el módulo USART que es el medio utilizado de comunicación con las demás tarjetas.

La Figura 3-3 muestra el hardware pin a pin de la tarjeta controladora. Como se observa en la figura, el pin RB1 del PIC16F628A corresponde al receptor del módulo USART y se emplea para establecer comunicación serial Half-dúplex, tipo asíncrona, con el PIC del módulo receptor Rx en el control local. Esta señal es decodificada y se emplea para activar los pines de salida programados para energizar, a través de transistores y triac, los actuadores que generan el movimiento de la mesa. La Figura 2-4 muestra la implementación física de la tarjeta controladora y de potencia.

Figura 3-2: Circuito esquemático.



Fuente: elaborado por el autor.

Figura 3-3: Implementación física de la tarjeta de potencia y controladora.



Fuente: Elaborado por el autor

El lenguaje de programación utilizado para programar el microcontrolador es el Mplab IDE v8.90. A continuación se muestran el código implementado en la programación del PIC 16F628A. También se incluyen comentarios descriptivos de las diferentes líneas de instrucción del programa.

```

*****
,

LIST P=16F628A,          ; usar PIC 16F628A

include <p16f628a.inc>
;***** PALABRA DE CONFIGURACION *****
__CONFIG    h'3F50'    ; Code protection      OFF
             ; Data code protection        OFF
             ; Low voltage programming, RB4 I/O  OFF
             ; Brown-out reset              ON
             ; MCLR desctivado, RA5 I/O      OFF
             ; Watchdog timer               OFF
             ; Power-up timer                ON
             ; OSC es Int 4MHz,RA6 y RA7 son I/O
errorlevel  -302    ; Eliminate bank warning}

;Declaraciones de registros
cont1      EQU    0X30
cont2      EQU    0X31
I          EQU    0X31
REG        EQU    0X32
INSTRUCCION EQU    0X34

*****
,

ORG    .0

MOVLW    0X07          ; comparadores desactivados,
MOVWF    CMCON         ; I/O digitales.
BSF      STATUS,5     ; activa la página 1
MOVLW    B'00000000'
MOVWF    TRISA        ; Se configura el puerto A como entrada
MOVLW    B'00000110'
MOVWF    TRISB        ; Se configura puerto B como ENTRADAS Y Salidas
MOVLW    .31          ; BAUDIOS 9600 para la transmisión serial
MOVWF    SPBRG
BCF      TXSTA,4      ; tipo ASINCRONO
BCF      TXSTA,2      ; LOW SPEED
BCF      TXSTA,6      ; 8 BIT
BSF      TXSTA,5      ; Se configura el RB2 como TX
BSF      PIE1, RCIE   ; Se configura RB1 como RX
BCF      STATUS,5     ; volvemos a la página 0
BSF      RCSTA,7      ; Se habilita RX Y TX
BSF      RCSTA,4      ; se activa RX
BCF      RCSTA,6      ; 8 BITS
BCF      PIR1, RCIF   ; LIMPIAMOS FLAG RX
CLRFB   PORTA
CLRFB   PORTB

INICIO          ; Inicio del programa

```

```

CLRF          PORTB          ; borra todos los pines del puerto B en cero
CLRF          PORTA          ; Borra todos los pines del puerto A en cero
CLRF          INSTRUCCIÓN    ; Borra el registro INSTRUCCION

START
BCF          PIR1, RCIF      ; APAGO INTERRUPCION RX
; RUTINA DE RECEPCIÓN DE DATOS

BTFFS        PIR1, RCIF      ; inspecciona si se activa bandera de recepción de datos
GOTO         INICIO          ; si no ve a la etiqueta INICIO
MOVF         RREG, W         ; EL DATO RECIVIDO SE GUARDA EN W
MOVWF        INSTRUCCION     ; El dato es guardado en el registro INSTRUCCIÓN.
; INCLINACION LATERAL
INCLINACION_D
MOVFW        INSTRUCCIÓN     ; EL dato de se compara con el decimal 10
XORLW        D'10'           ;
BTFFS        STATUS, Z       ; Si el resultado es verdadero salta, si no ir a Inclinação_IZ
GOTO         INCLINACION_IZ
BSF          PORTA, BOMBA     ; Enciende la bomba
BSF          PORTA, XY1       ; actica solenoide Xy1
BCF          PORTA, XY2       ; actica solenoide Xy2
BSF          PORTA, 7         ; actica solenoide XY3
BSF          PORTA, 6         ; actica solenoide XY4
GOTO         START           ; regresa a Start para volver a recepción de datos
INCLINACION_IZ
MOVFW        INSTRUCCION     ; EL dato de se compara con el decimal 20
XORLW        D'20'           ;
BTFFS        STATUS, Z       ; Si el resultado es verdadero salta, si no ir a Bloqueo
GOTO         BLOQUEO         ;
BSF          PORTA, BOMBA     ; Enciende la bomba
BCF          PORTA, XY1       ; NO actica solenoide Xy1
BSF          PORTA, XY2       ; actica solenoide Xy2
BSF          PORTA, 6         ; actica solenoide XY4
BSF          PORTA, 7         ; actica solenoide XY3
GOTO         START           ; regresa a START para volver a recepción de datos
BLOQUEO
MOVFW        INSTRUCCION     ;El dato se compara con el decimal 30
XORLW        D'30'           ;
BTFFS        STATUS, Z       ;Si el dato es igual salta
GOTO         DESBLOQUEO     ;si no ve a la etiqueta Desbloqueo
BSF          PORTA, BOMBA     ;enciende BOMBA
BCF          PORTA, XY1       ;No Activa Xy1
BSF          PORTA, XY2       ;Activa Xy2
BSF          PORTB, 6         ;Activa XY5
GOTO         START           ;Ve a etiqueta START
DESBLOQUEO
MOVFW        INSTRUCCION     ;Compara el dato con el decimal 40
XORLW        D'40'           ;si es igual salta
BTFFS        STATUS, Z       ;
GOTO         SUBIR          ; si no ve a ta etiqueta Subir
BCF          PORTA, BOMBA     ; No activa bomba
BSF          PORTA, XY1       ; ABRE VALVULA
BCF          PORTA, XY2       ; ABRE VALVULA
BSF          PORTB, 6         ; XY5
GOTO         START           ; regresa a START para volver a recepción de datos
; ALTURA
SUBIR
MOVFW        INSTRUCCION     ; compara el dato con el decimal 50.
XORLW        D'50'           ;
BTFFS        STATUS, Z       ; si es igual salta
GOTO         BAJAR          ; si no ve a la etiqueta Bajar.
BSF          PORTA, BOMBA     ; activa bomba
BCF          PORTA, XY1       ; No activa Xy1
BSF          PORTA, XY2       ; Activa Xy2
BSF          PORTB, 7         ; Activa XY6
GOTO         START

```

BAJAR

```

MOVFW      INSTRUCCION
XORLW      D'60'          ; Compara el dato con el decimal 60
BTFSS      STATUS, Z      ; Si es igual salta
GOTO       SUBIR_ESPALDAR; si no, ve a la etiqueta SUBIR_ESPALDAR
BCF        PORTA, BOMBA   ; No activa Bomba
BSF        PORTA, XY1     ; activa Xy1
BCF        PORTA, XY2     ; No Activa Xy2
BSF        PORTB, 7      ; Activa XY6
GOTO       START         ; regresa a START para volver a recepción de datos.

```

; ESPALDAR

SUBIR_ESPALDAR

```

MOVFW      INSTRUCCION
XORLW      D'70'          ; compara el dato con el decimal 70
BTFSS      STATUS, Z      ; si es igual salta
GOTO       BAJAR_ESPALDAR ; si no ve a la etiqueta BAJAR_ESPALDAR
BSF        PORTA, BOMBA   ; Activa bomba
BCF        PORTA, XY1     ; No activa Xy1
BSF        PORTA, XY2     ; Activa Xy2
BSF        PORTB, 5      ; Activa XY7
BSF        PORTB, 4      ; Activa XY8
GOTO       START         ; regresa a START para volver a recepción de datos.

```

BAJAR_ESPALDAR

```

MOVFW      INSTRUCCION
XORLW      D'80'          ; compara el dato con el decimal 80.
BTFSS      STATUS, Z      ; Si es igual salta.
GOTO       SUBIR_CABEZA   ; si no ve a la etiqueta SUBIR_CABEZA
BSF        PORTA, BOMBA   ; activa Bomba
BSF        PORTA, XY1     ; activa Xy1
BCF        PORTA, XY2     ; No Activa Xy2
BSF        PORTB, 5      ; Activa XY7
BSF        PORTB, 4      ; Activa XY8
GOTO       START         ; regresa a START para volver a recepción de datos

```

; INCLINACION CABEZA Y PIEZ

SUBIR_CABEZA

```

MOVFW      INSTRUCCION
XORLW      D'90'          ; compara el dato con el decimal 90.
BTFSS      STATUS, Z      ; si es igual salta
GOTO       BAJAR_CABEZA   ; si ve a la etiqueta BAJAR_CABEZA
BSF        PORTA, BOMBA   ; Activa Bomba
BCF        PORTA, XY1     ; No activa Xy1
BSF        PORTA, XY2     ; Activa Xy2
BSF        PORTB, 0      ; Activa XY9
BSF        PORTB, 3      ; Activa XY10
GOTO       START         ; regresa a START para volver a recepción de datos.

```

BAJAR_CABEZA

```

MOVFW      INSTRUCCION
XORLW      D'100'         ; Compara el dato con el decimal 100.
BTFSS      STATUS, Z      ; si es igual salta
GOTO       NO_INSTRUCCION ; Si no ve a la etiqueta NO_INSTRUCCION.
BSF        PORTA, BOMBA   ; Activa Bomba
BSF        PORTA, XY1     ; Activa Xy1
BCF        PORTA, XY2     ; No activa Xy2
BSF        PORTB, 0      ; Activa XY9
BSF        PORTB, 3      ; Activa XY10
GOTO       START         ; regresa a START para volver a recepción de datos.

```

```

NO_INSTRUCCION          ; El dato recibido no coincide con las instrucciones establecidas.

```

```

GOTO       INICIO       ; ve a la etiqueta INICIO

```

END

3.1.2 Tarjeta de control local.

Esta tarjeta esta implementada con el PIC 16F628A, además de diez pulsadores que hacen la interfaz con el usuario. Los pulsadores del control están identificados con los símbolos que indican el movimiento que se quiere realizar. A esta tarjeta se optó por implementar el módulo de recepción XY-MK-5V por su bajo costo, una de las ventajas es que no se necesita librerías para su uso y se puede enviar una señal limpia como una señal serial a la entrada del módulo transmisor que será recibida por el módulo receptor

Los pines del microcontrolador están relacionados con los botones de movimiento de la siguiente manera: RA0 = inclinación izquierda, RA1 = inclinación derecha, RA2 = Bajar espaldar, RA3 = subir espaldar, RA4 = bajar tabla , RB0 = subir tabla, RB3 = Anti_tren, RB4 = Trendelenburg, RB5 = Bloqueo y RB7 = desbloqueo.

El PIC toma el pulso del botón presionado, la codifica y la envía por el pin RB2, salida del módulo USART, a la tarjeta de potencia. Además, también cuenta con el módulo receptor XY-MK-5V donde llegan las señales provenientes del control inalámbrico. En la Tabla 2-3 se describen los símbolos que identifican los pulsadores, en la Figura 2-7 se muestra el circuito esquemático y en la Figura 2-8 el montaje del control local. Cabe destacar que las carcasas de los controles fueron diseñadas y hechas con impresora 3D para este proyecto.

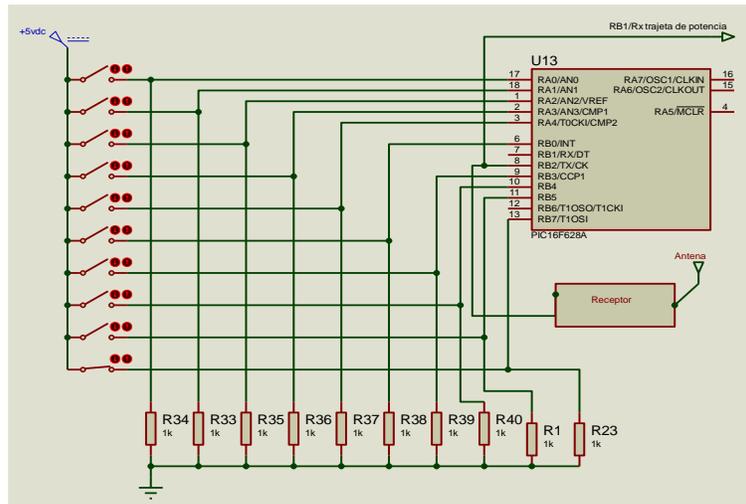
Tabla 3-3: Descripción de símbolos de movimientos.

Símbolo	Descripción
	Levanta la mesa
	Baja la mesa
	Inclina el espaldar de la mesa hacia arriba
	Inclina el espaldar de la mesa hacia abajo

	Inclinación lateral de la mesa lado derecho
	Inclinación lateralmente la mesa lado izquierdo
	Movimiento Trendelenburg
	Movimiento Anti-Trendelenburg
	Bloqueo
	Desbloqueo

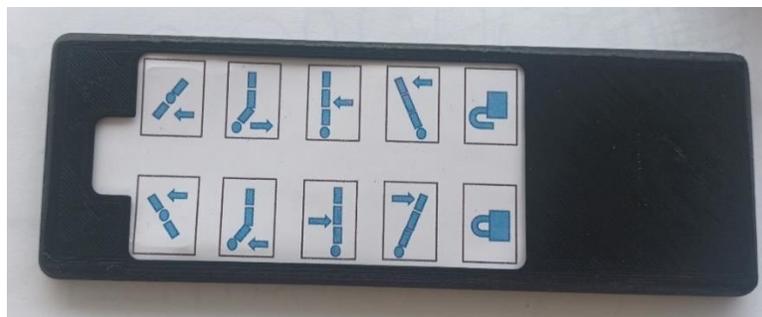
Fuente: Elaborado por el autor.

Figura 3-4: Circuito esquemático tarjeta de control local



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 3-5: Aspecto físico de la tarjeta de control local.



Fuente: elaborado por el autor.

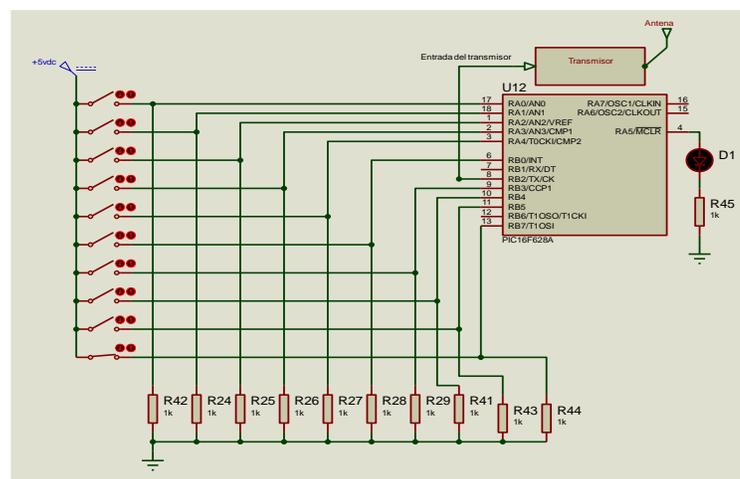
2.1.3 Tarjeta de control inalámbrico.

Igual que la tarjeta del control local, esta tarjeta esta implementada con un PIC 16F628A, además, diez pulsadores hacen la interfaz inalámbrica con el usuario, los pulsadores del control están identificados con los símbolos que indican el movimiento que se quiere realizar.

Los pines del microcontrolador están relacionados con los botones de movimiento de la siguiente manera: RA0 = inclinación izquierda, RA1 = inclinación derecha, RA2 = Bajar espaldar, RA3 = subir espaldar, RA4 = bajar tabla, RB0 = subir tabla, RB3 = Anti_tren, RB4 = Trendelenburg, RB5 = Bloqueo y RB7 = desbloqueo. El RA5 tiene conectado un led que indica cuando un botón es presionado.

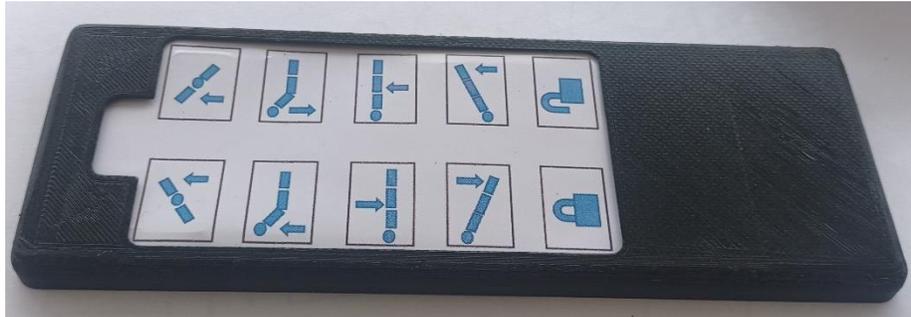
Al accionar un pulsador el microcontrolador toma esa señal, la codifica y la envía por el pin RB2, salida del módulo USART, al módulo transmisores FS1000A, la señal transmitida y es captada por el receptor colocado en el control local de la mesa. Este control se alimenta con tres pilas de 1,5 Vdc para un total de 4,5 Vdc. En la Tabla 3-2 (arriba) se describen los símbolos que identifican los pulsadores, en la Figura 3-9 se muestra el circuito esquemático y en la Figura 3-10 el montaje del control inalámbrico.

Figura 3-6: Circuito esquemático tarjeta de control inalámbrico.



Fuente: Elaborado por el usuario.

Figura 3-7: Aspecto físico de la tarjeta de control inalámbrico.



Fuente: Elaborado por el autor.

4.Resultados.

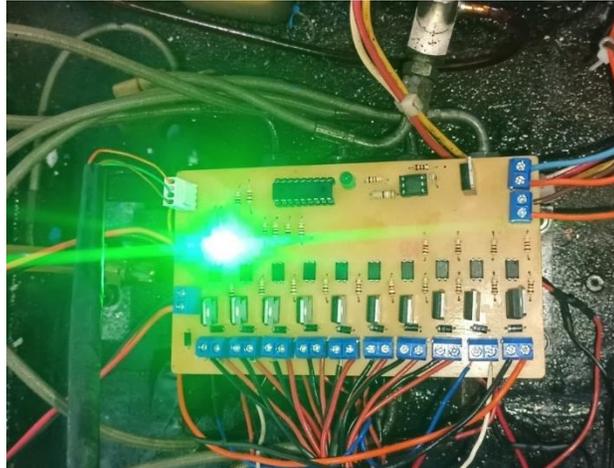
En el proceso de habilitar la mesa de cirugía DT12-B se cumplieron los objetivos planteados al inicio. Los mantenimientos, reparaciones y limpieza de los componentes mecánicos e hidráulicos dieron como resultado el buen funcionamiento de estos. El diseño, construcción e implementación de las tarjetas electrónicas para controlar el sistema hidráulico fue eficiente al momento de su funcionamiento logrando las expectativas del diseño.

4.1 Pruebas de funcionamiento.

En la etapa de pruebas de la mesa se verificó la estabilidad de la base, que fuese estable y segura. Se implementaron las tarjetas de control con el sistema hidráulico. Se energizó la fuente con 120 Vac y se verificaron los voltajes de salida 5 y 24 Vdc en la fuente alimentación, además los 120 Vac de alimentación de la bomba

hidráulica. Se verificaron, además, los indicadores de entrada de voltaje al circuito, Figura 4-1.

Figura 4-1: Tarjeta de control instalada y energizada.



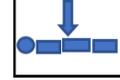
Fuente: Elaborado por el autor

4.2 Pruebas de movimientos.

AL integrar los sistemas de control y el hidráulico se realizaron pruebas de control de movimientos accionado los pulsadores desde los controles de mando, se inició con la plataforma de la mesa de cirugías totalmente abajo y totalmente horizontal. Al poner en operación la mesa se verificaron las solenoides, transistores, bomba de aceite su bien funcionamiento, se verifico algún de escape o alguna fisura produjera fuga de aceite hidráulico o sobre calentamiento de los dispositivos electrónicos instalados. Se observa que el sistema hidráulico genera la fuerza suficiente para generar los movimientos de las articulaciones que generan los movimientos.

En la Tabla 4-1 se indica el movimiento que se genera, hasta su máxima posición, al presionar el pulsador desde el control de movimiento.

Tabla 4-1: Movimientos de la mesa de cirugías.

Pulsador accionado	Imagen de movimiento	Descripción del movimiento
		<p>Eleva la tabla de operaciones hasta un máximo de 66 cm desde la base.</p>
		<p>Baja la tabla de operaciones hasta 22 cm hasta la base</p>
		<p>Inclina el espaldar de la base hasta alcanzar un ángulo de 75° con respecto a la horizontal</p>
		<p>Mueve hacia abajo el espaldar hasta estar totalmente recta con respecto a la horizontal.</p>
		<p>Mueve la tabla de forma lateral subiendo el lado derecho hasta un ángulo de 15°</p>
		<p>Mueve la tabla de forma lateral subiendo el lado izquierdo hasta un ángulo de 15°</p>

		<p>Inclina la mesa en forma de Trendelenburg (proclive) hasta los 15°</p>
		<p>Realiza el movimiento anti-tren (declive) hasta los -15°</p>
	<p>Esta instrucción permite que la mesa se pueda desplazar</p>	<p>Permite que la mesa se pueda desplazar.</p>
	<p>No permite el desplazamiento de la mesa.</p>	<p>Bloquea la mesa y no se pueda desplazar.</p>

Fuente: elaborado por el autor

5. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

Se diseño e implemento el sistema de control de movimientos de la mesa de cirugías de operación electrohidráulica DT-12B para ponerla a disposición en el Laboratorio de Biomédica de la Universidad Antonio Nariño sede Cartagena.

Se inspecciono el estado funcional y operativo de los diferentes componentes eléctricos, electrónicos, hidráulicos y mecánicos de la mesa de cirugía DT-12B. A los componentes funcionales se le realizo un mantenimiento preventivo y los no funcionales se retiraron para hacer el arreglo o cambio de este.

Se realizo un mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas electrohidráulicos, se cambiaron empaques, sellos, retenedores en los actuadores que estaban defectuosos. El cuerpo valvular se le destaparon los conductos de aceite internos ya que estaban obstruidos por suciedad, la limpieza hizo con ayuda de un compresor de aire y líquidos removedor de suciedad.

Se diseñaron las tarjetas de control, mando de control local y remoto para controlar los actuadores que generan los movimientos de la mesa de cirugía. Así mismo, se implementó el circuito de control realizando la integración de todos los componentes con el sistema para el funcionamiento de la mesa de cirugías.

Se elaboró un manual de operación de la mesa de cirugías donde se contemple el sistema de control implementado. El manual contempla especificación de eléctricas, partes de la mesa, descripción de operación, algunos cuidados básicos que se deben tener a la hora de manipular esta herramienta.

5.2 Recomendaciones.

Para mejorar el funcionamiento de la mesa de cirugía Modelo, se recomienda realizar las siguientes acciones de mejora:

- Como el sistema de control es tipo lazo abierto la nivelación de la tabla es por medio de la observación del usuario manipulando el control.
- Diseñar e implementar un sistema de control de lazo cerrado donde la mesa automáticamente se coloque en una posición deseada por el usuario, esto se logra instalando sensores de posición en las articulaciones y enviando las señales al controlador que teniendo la programación adecuada hará la acción automáticamente. Por ejemplo, la nivelación automática de la tabla.
- Inspeccionar si hay fuga del aceite hidráulico sobre el piso o partes de mesa, corregir fuga antes de utilizar la mesa.
- Realizar mantenimiento y limpieza cada tres meses,
- Instalar las correas que sujetan al paciente en la mesa.
- Suministrar los accesorios que la mesa requiere para que pueda cumplir con todas sus funciones.
- Instalar un sistema de baterías para el respaldo eléctrico en caso de fallas en el suministro eléctrico comercial y garantizar una mayor autonomía.
- Se recomienda el cambio de aceite cada año si está en uso, si se mantiene inhabilitada, por alguna razón, por seis meses se recomienda el cambio antes del volverla a utilizar.

6. Bibliografía

- [1] Universidad Antonio Nariño, « <https://www.uan.edu.co/ingenieria-biomedica>,» [En línea]. Available: <https://www.uan.edu.co/ingenieria-biomedica>. [Último acceso: 5 marzo 2023].
- [2] GOV.CO, «Datos abiertos,» [En línea]. Available: <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Cantidad-de-ambulancias-camas-y-salas-consideradas/fa2g-cdff>. [Último acceso: 11 Marzo 2023].
- [3] GOV.CO, «Datos abiertos.,» [En línea]. Available: <https://www.datos.gov.co/Salud-y-Proteccion-Social/Relacion-de-IPS-publicas-y-privadas-seg-n-el-nivel/cxqw-z8fh..>
- [4] Focus Technology, «Made-in-China.com,» [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_smiiec/product_Electrical-Operating-Table-DT12-B-_ruornheog.html. [Último acceso: 11 Marzo 2023].
- [5] kalstein, «Kalstein,» [En línea]. Available: <https://kalstein.com.mx/mesa-de-operaciones/>. [Último acceso: 11 Marzo 2023].
- [6] M. T. Rodriguez, «Studocu,» [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/co/document/fundacion-universitaria-de-ciencias-de-la-salud/enfermeria/infografia-mesa-qr-1-descripcion-mesa-quirurgica/36997736>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [7] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [8] Microchip, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/74968/MICROCHIP/PIC16F628A.html>. [Último acceso: 07 Mayo 2023].
- [9] Jiangsu Changjiang Electronics Technology. LTD, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/968896/JIANGSU/TIP31C.html>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].

- [10] Sharp Corporation, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/43371/SHARP/PC817.html>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [11] ESPECIFICAR Soluciones para agua energia y sustentabilidad, «especificarmag.com.mx,» [En línea]. Available: <https://especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores-html/#:~:text=Un%20actuador%20es%20un%20dispositivo,convierte%20en%20el%20movimiento%20deseado..> [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [12] ASHM Aceros y sistemas hidraulicos de Mexico, «<https://www.ashm.mx>,» [En línea]. Available: <https://www.ashm.mx/blog/revision-del-sistema-hidraulico/>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [13] Comofunciona, «Como Funciona,» [En línea]. Available: <https://como-funciona.co/sistemas-hidraulicos/>. [Último acceso: 07 Mayo 2023].
- [14] Mactronica, «Mactronica electronica y tecnologia.,» [En línea]. Available: <https://www.mactronica.com.co/modulo-transmisor-y-receptor-rf-433mhz>. [Último acceso: 9 Mayo 2023].
- [15] Microchip Technoligy, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Pic16f628&gclid=EAAlaQobChMlrKSAov7j_glVgx6zAB3VNgEIEAAYASAAEgZlFD_BwE. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [16] Motorola, «Alldatasheet.com,» [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/5039/MOTOROLA/MOC3021.html>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].
- [17] BZ bezaresmexico, «www.bezares.com,» [En línea]. Available: <https://bezares.com/es-mx/que-es-una-bomba-hidraulica/>. [Último acceso: 7 Mayo 2023].