

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

Diseño de un sistema mecatrónico para la limpieza automática del fondo y de las paredes internas de acuarios ornamentales

Trabajo de fin de carrera para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

Dimas Antony Chacon Salas

ASESOR: Franco Hidalgo Herencia

Lima, marzo del 2013

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño mecatrónico de una máquina automática encargada de la limpieza del fondo y las paredes internas de los cristales de un acuario ornamental. Esta máquina es capaz de trabajar en acuarios prismáticos con altura de hasta 40 cm, ancho entre 32 cm y 60 cm y largo de hasta 1 m sin la necesidad de retirar el agua del acuario.

La máquina, ubicada por encima del acuario, trabaja succionando por zonas circulares (una zona a la vez) el fondo del acuario, mediante una bomba, retirando los desperdicios que se almacenan entre la grava aprovechando su menor densidad. Este proceso de succión se realiza con un actuador lineal que aleja y acerca un succionador al fondo del acuario. Asimismo, la limpieza de los cristales se realiza con gomas de caucho instaladas alrededor del succionador. Cada vez que el succionador se encuentre trabajando cerca de las paredes del acuario, con ayuda del movimiento vertical del actuador lineal, las gomas de caucho limpian los cristales por fricción.

El trabajo abarca la selección de los sensores y actuadores, de los planos mecánicos para la construcción de la máquina, los planos de conexiones eléctricas, el diseño de las tarjetas electrónicas específicas para el tablero de control y los bloques de flujo para la lógica que seguiría una programación futura.

El costo de fabricación del sistema mecatrónico para la limpieza del fondo y cristales internos de acuarios usando un micro PLC es de aproximadamente US\$ 2909.

Capítulo 1

Presentación de la problemática

Hoy en día la cantidad de acuaristas a nivel global y sobre todo en el Perú está en constante crecimiento. Esto, muy probablemente debido al auge económico que nuestro país atraviesa. Existe una gran variedad de productos referidos al acuarismo en el mercado, moviendo una buena cantidad de dinero, no sólo en la compra e instalación de peceras, acuarios y fuentes ornamentales, sino también en el mantenimiento de estos, cuidando la salud de los peces y limpiando la pecera regularmente.

Para el mantenimiento correcto de un acuario se deben realizar varias actividades tales como verificar las condiciones del agua (fosfatos, Ph, etc.), alimentar a los peces regularmente, revisar la temperatura, cambio de agua con regularidad, limpieza del fondo de los desechos, limpieza de los cristales debido a la acumulación de algas, etc.

Dos de las actividades más importantes son la limpieza del fondo y la de los cristales internos.

Debido a la constante actividad de los peces, se generan desechos, los cuales se asientan en el fondo del acuario y representan una amenaza para la salud de los peces. Para su limpieza se realiza, comúnmente, de manera manual, usando un sifón para succionar directamente los desechos y dejando la grava limpia.

Asimismo, un problema que todos los acuarios presentan es la aparición de algas en los cristales, los cuales también representan una amenaza a la salud de los peces. Para su limpieza son muy usados imanes con esponjas, colocando uno en cada lado del mismo cristal y en la misma zona siendo desplazados manualmente, sin embargo son muy ineficientes y caros; también son bastante usados los limpiavidrios comunes.

Incluso, muchas veces para realizar estas dos actividades, se opta por vaciar todo el acuario, lo que genera una pérdida de tiempo por parte del usuario. De aquí surge la idea de crear una máquina automática de bajo costo que se encargue de la limpieza del fondo y los cristales regularmente sin quitar el agua de la pecera.

Además, manteniendo el mismo principio de funcionamiento a una escala mayor este prototipo también podría proyectarse al sector agrícola, como la limpieza de posos o piscigranjas.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

El objetivo principal de este trabajo es diseñar una máquina automática para la limpieza del fondo y los vidrios internos de un acuario.

La máquina se debe encargar de limpiar el fondo del acuario extrayendo los desperdicios y suciedad que se aglomeran en este debido a las actividades de los peces. Además, debe encargarse de la limpieza interna de los cristales del acuario, todo este proceso sin vaciar el acuario.

Esta máquina debe cumplir con los siguientes requerimientos.

Mecánicos:

- Absorción de los desperdicios varios, sin absorber la grava y/o piedras más pequeñas del fondo del acuario.
- Limpieza de los cuatro cristales (paredes internas) de un acuario en forma de prisma rectangular con largo variable de hasta 100 cm, ancho variable de 32 a 60 cm y alto de hasta 40 cm.
- Alcance total del fondo del acuario.
- Todos los elementos deben ser resistentes a las salpicaduras de agua o al menos estar protegidos.

Eléctricos-electrónicos:

- La máquina debe ser alimentada directamente desde una toma de 220 VAC
- El sistema debe adaptarse a distintos tamaños de acuarios.
- La caja de control debe estar instalada alejada del acuario debido al agua.
- Todos los componentes electrónicos deben funcionar con corriente DC

Control del sistema:

- Debido a la cantidad específica de actuadores y sensores que se emplearán, el control de la máquina debe ser realizado con un sistema embebido para asegurar la efectividad del control además de su fácil programación.

2.2 Concepto de la solución

Para cumplir con el objetivo de la limpieza del fondo del acuario, se planteó el uso de una boca de succión de diámetro de 5 cm la cual se desplaza para abarcar todo el fondo, succionando durante 10 s un área, a lo cual al finalizar, esta boca de succión se desplaza a una siguiente zona en el fondo.

Para el movimiento de la boca de succión a través de todo el fondo, llamado a partir de ahora en este trabajo Plano XY, se diseñó un mecanismo similar a un puente-grúa apoyado sobre los bordes de los cristales del acuario. Este “puente-grúa” es extensible con la finalidad de cumplir con el requerimiento de ajustarse a diferentes tamaños de acuario. En la figura 2.2.1 se muestra una vista aérea de de acuario con el “puente-grúa” montado y la zona de trabajo que puede manejar este.

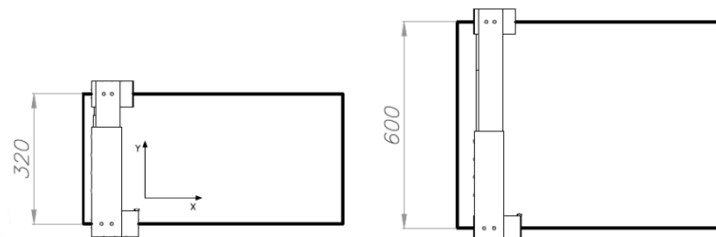


Fig. 2.2.1 Puente-grúa totalmente contraído y totalmente extendido, indicando la mínima y máxima dimensión en el eje Y respectivamente. Unidades en milímetros.

Sin embargo, la boca de sifón o succión no debe desplazarse por todo el fondo del acuario a un mismo nivel de altura, no debe haber ningún tipo de choques durante su desplazamiento hacia una siguiente zona de succión. Por lo que se optó por instalar un actuador lineal para el desplazamiento vertical de la boca de succión (eje Z). Cada vez que se termine de succionar una zona, la boca de succión se desplaza hacia arriba, luego a la siguiente zona en el plano XY y nuevamente se desplaza hacia abajo hasta tocar fondo, repitiendo la misma acción hasta abarcar todo el fondo.

Para la limpieza de los cristales internos del acuario, se aprovecha el movimiento vertical y repetitivo de la boca de succión. Se acopló un mecanismo con 8 brazos limpiavidrios alrededor de la boca de succión, con 2 brazos paralelos a cada pared del acuario, cada uno con una goma en su extremo (figura 2.2.2). De esta manera, cada vez que la boca se encuentre las zonas extremas del plano XY, siempre estarán en contacto con los cristales al menos dos brazos limpiavidrios. Al bajar la boca de succión, el brazo limpiavidrios también lo hace logrando limpiar el cristal mediante fricción con la goma.

En la figura 2.2.2 se observa el concepto de los brazos limpiavidrios, instalados alrededor de la boca de succión.

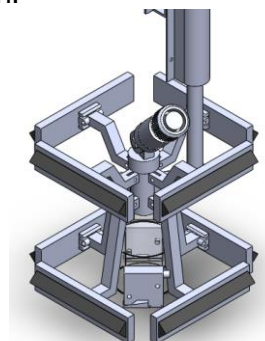


Fig. 2.2.2 Mecanismo de limpieza de cristales, se observan los 8 brazos limpiavidrios que lo componen.

El puente-grúa, el actuador lineal con el sifón y los 8 brazos limpiavidrios se mencionarán en conjunto como mecanismo XYZ. Este mecanismo se observa en la figura 2.2.3.

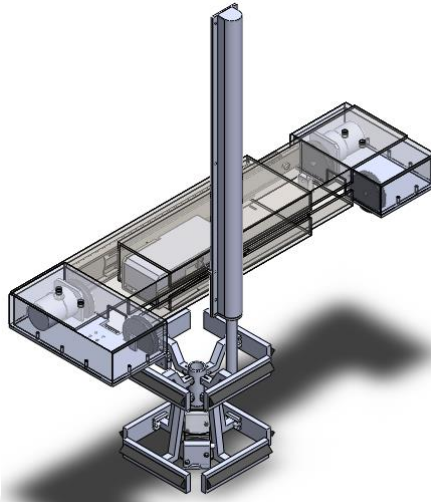


Fig. 2.2.3 Mecanismo XYZ

Cuando el mecanismo XYZ se desplaza sólo en el eje X, las coordenadas en el eje Y no deben variar, asimismo, cuando solo se desplaza en el eje Y, las coordenadas no deben variar en el eje X. Por lo que se instalaron frenos para mantener la posición cuando sea necesario. Para estos frenos se usaron solenoides de $\frac{1}{4}$ " de carrera, los cuales cuando están retraídos realizan una presión sobre un área y por principio de fricción no permiten el movimiento. En la figura 2.2.4 se observa el freno de goma del carro responsable del movimiento en el eje Y (carro Y).

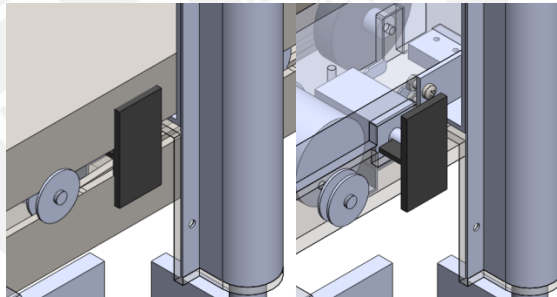


Fig. 2.2.4 Vista externa e interna del freno del carro Y

En la figura 2.2.5 se observa la posición del freno de uno de los carros que permiten el movimiento en el eje X, específicamente el carro X2, en rojo el solenoide retraído. En este caso el área de contacto sería el cristal interno del acuario.

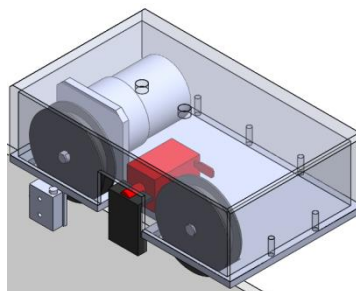


Fig. 2.2.5 Freno del carro X2, en rojo el solenoide.

El mecanismo encargado de la succión, consta de una bomba DC, capaz de succionar a un caudal de 120 L/H, suficiente para separar los desperdicios de la grava del fondo (Anexo A-1.4) y un filtro de agua de 100 micras, donde quedarán

almacenados los desperdicios. Este mecanismo de succión y filtración se encuentra sostenido en uno de los cristales de acuario y se une al mecanismo XYZ mediante una manguera en espiral. En la figura 2.2.6 se ve con detalle la bomba y el filtro en serie y en la figura 2.2.7 la disposición y la conexión del mecanismo XYZ y el de succión y filtración.

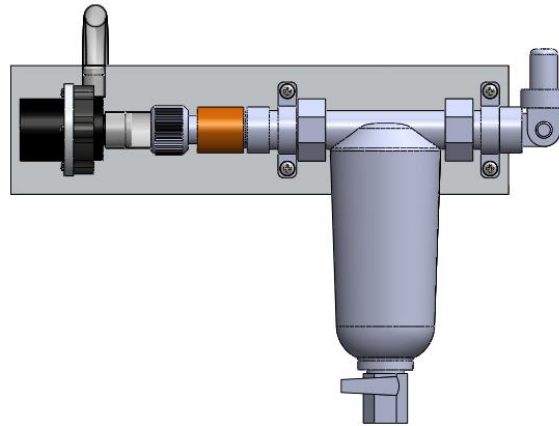


Fig. 2.2.6 Mecanismo de succión y filtración

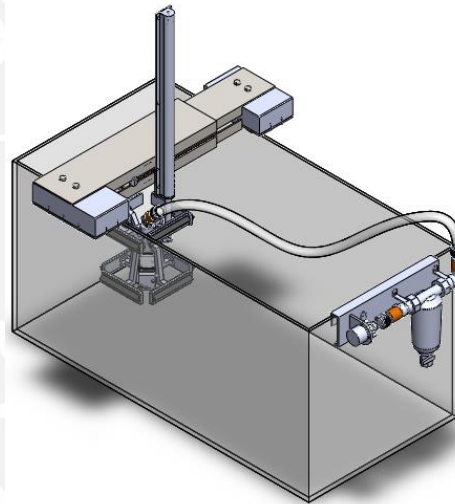


Fig. 2.2.7: Máquina completa sin tablero de control

Finalmente, para el control de la máquina se diseñó un tablero de control y potencia, en el cual está instalado un PLC y los transformadores de voltaje necesarios para controlar todos los actuadores y sensores presentes en la máquina.

Este tablero se instala por separado y va empotrado en una pared (Fig. 2.2.8).



Fig. 2.2.8 Tablero de control

Capítulo 3

Sistema mecatrónico

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

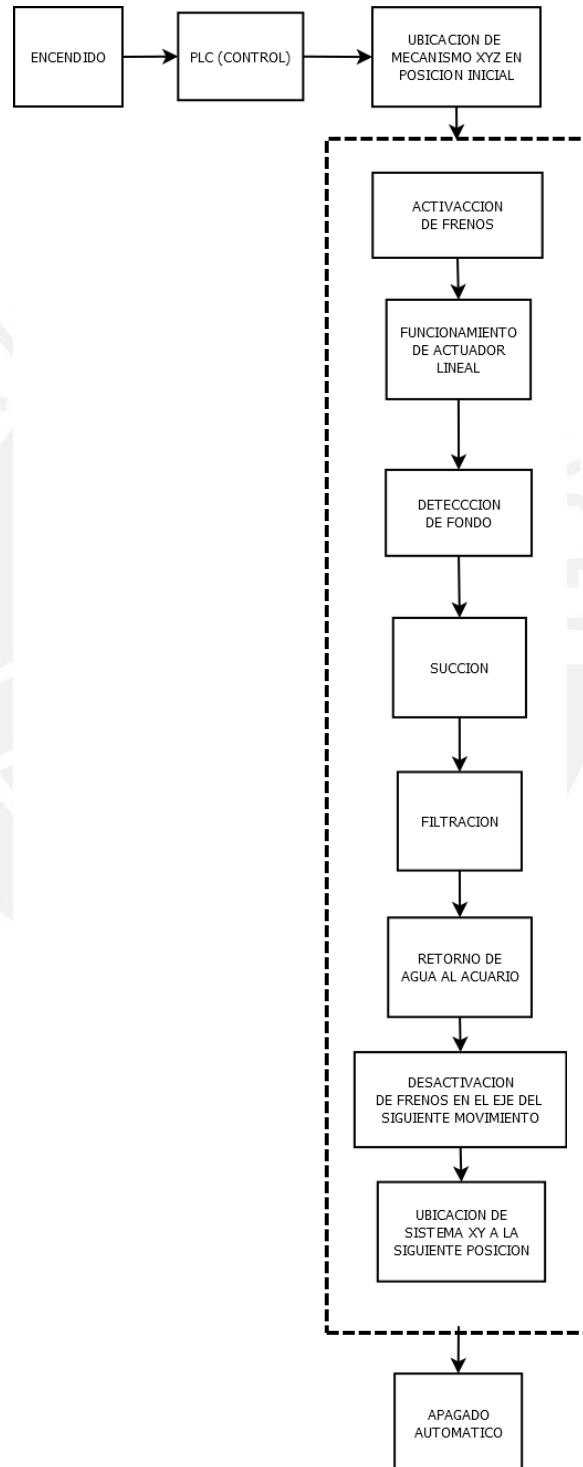


Fig. 3.1.1 Diagrama de bloques del funcionamiento de la máquina

El sistema comienza a funcionar una vez es encendido por el usuario, a lo cual el PLC se encarga de todo el control de la máquina.

El proceso se inicia con la ubicación inicial del mecanismo XYZ mediante los motores instalados en este en el plano XY. Se detectan los extremos mediante el uso de interruptores de límite.

Una vez que se está en la posición de inicio, el siguiente paso es activar los frenos en los ejes X e Y para asegurar que la boca de succión no se desplace en el plano XY. Luego se activa el actuador lineal, hasta llegar al fondo del acuario, el cual es detectado mediante el uso de interruptores de límite. En este último proceso mencionado se aprovecha el movimiento del actuador lineal para limpiar los cristales mediante fricción con los brazos limpiavidrios.

Sólo luego de detectar que se alcanzó el fondo, comienza el proceso de succión con ayuda de una bomba. En el circuito de succión, se encuentra instalado un filtro, responsable de la separación de todos los desperdicios del agua.

El agua succionada y filtrada es retornada al acuario, conservando la cantidad de agua que había en él.

La succión tarda 10 s; al finalizar, el actuador lineal se retrae, con lo cual se aprovecha este movimiento para limpiar los cristales. Al terminar de retraerse por completo el actuador lineal, usando su interruptor de límite interno, el mecanismo XYZ se ubica en la siguiente posición para realizar nuevamente el proceso de succión y filtración.

El movimiento en el plano XY se observa en el esquema de la figura 3.1.2 donde cada punto representa una zona de succión.

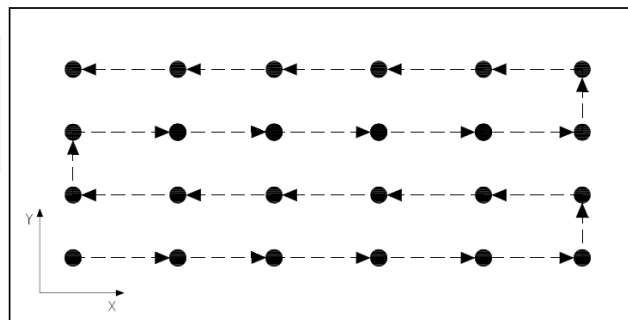


Fig. 3.1.2 Croquis del movimiento en el plano XY del mecanismo XYZ

Todo el proceso de repetición está indicado en el bloque punteado de la figura 3.1.1.

Una vez que el sistema XYZ llega a la posición final en el plano XY y realiza la succión y filtración, la máquina se apaga automáticamente.

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1 Actuadores

3.2.1.1 Motores para movimiento en plano XY

Motores DC de 7.2 VDC para el movimiento del mecanismo XYZ.



Fig. 3.2.1 Motor DC

Según los cálculos detallados en los anexos A-1.1 y A-1.2 se determinó que los motores para realizar el movimiento en X se necesita un torque de 0.56 N.m en cada motor (motor X1 y X2) y una velocidad de 9.5 RPM. Para realizar el movimiento en Y se necesita un torque de 0.71 N.m y una velocidad de 9.5 RPM.

Se seleccionó el mismo motor para los motores X1, X2 y Y con las características mostradas en la tabla 3.2.1 los cuales cumplen con lo necesitado.

Estos motores se usan en conjunto con sus sensores de posición *encoders*, los cuales están detallados en la sección 3.2.2.3 de sensores.

TABLA 3.2.1 Características del motor DC

Marca	Lynxmotion
Tipo	HN-GH35GMB
Modelo	HN-GH7.2-2414T - 50:1
Voltaje	7.2 VDC
Torque	0.8 N.m

En la figura 3.2.2 se aprecia las ubicaciones de los motores X1 y X2, que son controlados en paralelo para el movimiento en el eje X y el motor Y en el eje Y

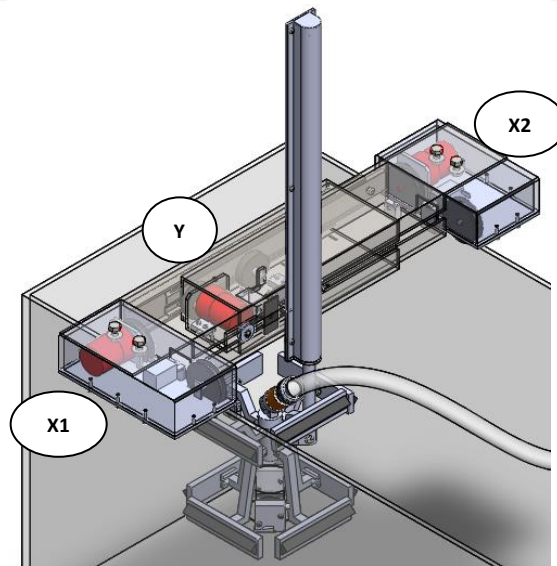


Fig. 3.2.2 Ubicación de motores DC, resaltados en rojo

3.2.1.2 Actuador Lineal

El actuador lineal se utiliza para el movimiento del mecanismo XYZ en el eje Z. Ubicando la boca de succión en el fondo y aprovechando su carrera para la limpieza de los cristales internos del acuario. Se necesita un actuador lineal con 300 mm de carrera para usar en acuarios de hasta 40 cm de alto. Además, según los cálculos detallados en el Anexo A-1.3 se determinó que necesita una fuerza mínima de 2 N.

Se seleccionó el actuador lineal Sinokoko de 24VDC con las características indicadas en la tabla 3.2.2 que cumplen con lo necesitado.

Además, este actuador lineal presenta un interruptor de límite interno no ajustable para cortar la alimentación cuando el actuador ya llegó a su estado totalmente retraído.

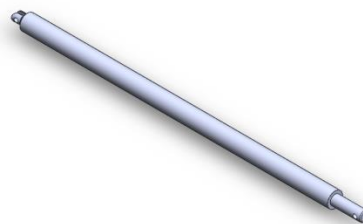


Fig. 3.2.3 Actuador lineal seleccionado

TABLA 3.2.2 Características del actuador lineal

Marca	Sinokoko
Modelo	LM-S112-7
Código de Orden	24VDC-90N-7-300mm-430mm-1m
Carrera	300 mm
Fuerza	90 N

En la figura 3.2.4 se aprecia la ubicación del actuador en la máquina.

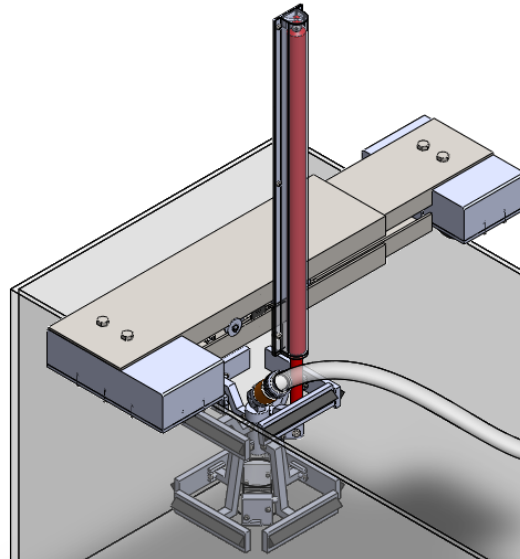


Fig. 3.2.4 Ubicación del actuador lineal de 300mm de carrera

3.2.1.3 Bomba y filtro

La bomba es la encargada de la succión de agua con desperdicios. Se seleccionó una bomba DC de 24 V que puede trabajar con un caudal de 120 L/H y capaz de succionar agua desde una altura de 40 cm (altura máxima como requerimiento de la máquina). La selección de la bomba mediante estas características es determinada en el anexo A-1.4.

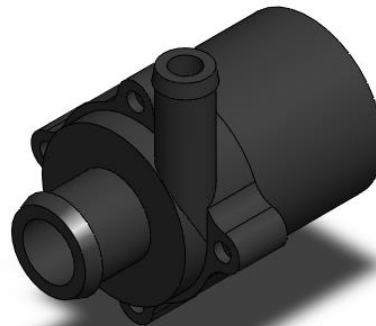


Fig. 3.2.5 Bomba DC seleccionada

TABLA 3.2.3 Características de la bomba DC

Marca	Zhong Long Motor
Modelo	ZL32-12
Voltaje	24 VDC
Potencia	1.5 W
Caudal	120 L/H

El filtro es el elemento pasivo que se encuentra en serie en el circuito de succión, en él se almacenan los desperdicios y filtra sustancias de hasta 100 micras. En la tabla 2.3.4 se indican sus características.

TABLA 3.2.4 Características del filtro

Marca	Honeywell
Modelo	MiniPlus-FF06-1/2AA
Capacidad del filtro	100 μ m

En la figura 2.3.6 se muestran las ubicaciones de la bomba (en rojo) y el filtro (en azul) en la máquina.

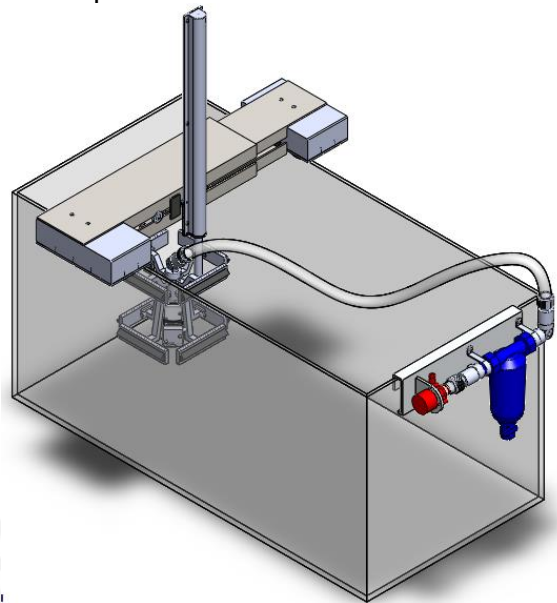


Fig. 3.2.6 Ubicación de la bomba (rojo) y el filtro (azul) en la máquina.

3.2.1.4 Solenoides

Se usaron solenoides a modo de frenos de seguridad para mantener fijos los carros encargados del movimiento tanto en el eje X como en el eje Y. Se ubicó 1 solenoide por motor y están acoplados a una goma para generar fricción sobre el área de presión. Estos solenoides necesitan un voltaje de 24 VDC para activación y 15 VDC en reversa para liberarse. En la tabla 3.2.5 se indican las características del solenoide seleccionado.

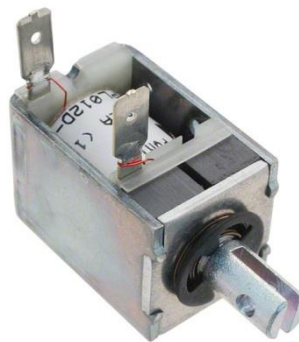


Fig. 3.2.7 Solenoide seleccionado

TABLA 3.2.5 Características del solenoide

Marca	Pontiac Coil
Modelo	M-22PL024D-04-SR
Carrera	¼ pulgada

En la figura 3.2.8 se aprecia la ubicación de los solenoides X1 y X2 y en la figura 3.2.9 la ubicación del solenoide Y.

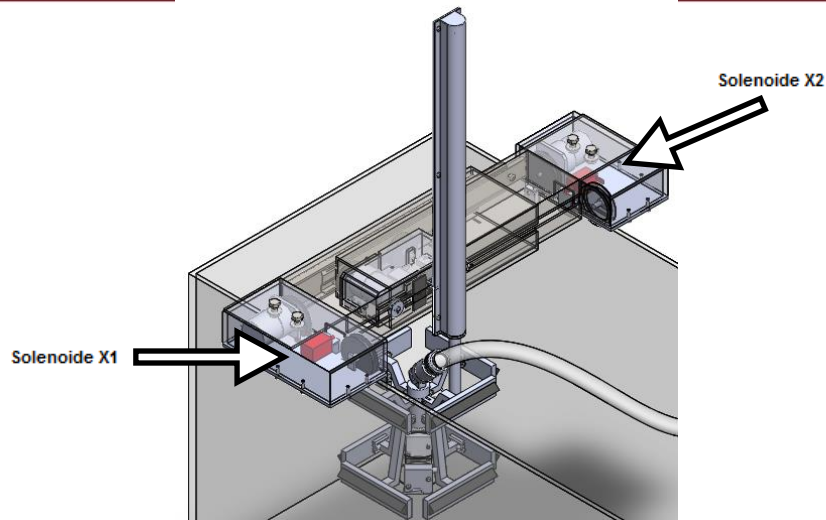


Fig. 3.2.8 Ubicación de los solenoides (en rojo) del eje X

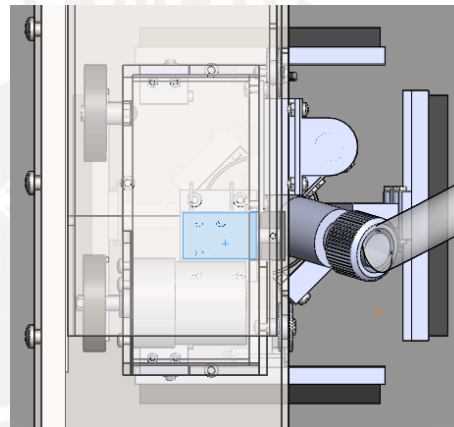


Fig. 3.2.9 En celeste el solenoide del carro en el eje Y

3.2.2 Sensores

3.2.2.1 Interruptores de límite Ejes XY

Usados para determinar los 4 límites del acuario (en el plano XY), cada vez que el interruptor choca con un cristal se manda una señal a la unidad de control indicándole que la máquina ha llegado a un extremo. Debido a la cercanía al agua del acuario, se seleccionaron con un grado de protección contra el ingreso de agua elevado, según la norma IEC, estos interruptores de límite cuentan con grado de protección IP67, lo que indica que soportan salpicaduras de agua e incluso inmersión hasta 30 minutos.



Fig. 3.2.10 Imagen referencial del interruptor, el usado en este trabajo no cuenta con una palanca de miniactuador.

En la tabla 3.2.6 se indican las características del interruptor de límite.

TABLA 3.2.6 Características del interruptor de límite

Marca	Microprecision Electronics
Modelo	MP430-0/325/100/PVC
Grado de protección	IP 67
Fuerza de activación	2.5 N

En la figura 3.2.11 se aprecian las ubicaciones de los interruptores de límite.

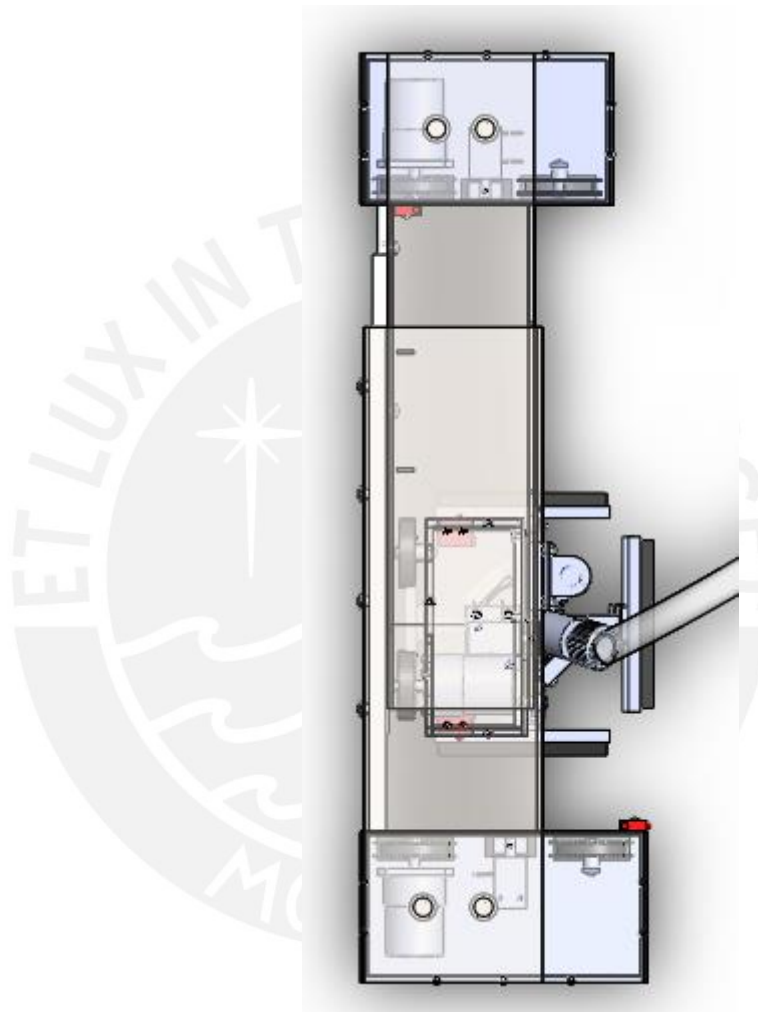


Fig. 3.2.11 Vista aérea del mecanismo XYZ, en rojo la ubicación de los interruptores de límite

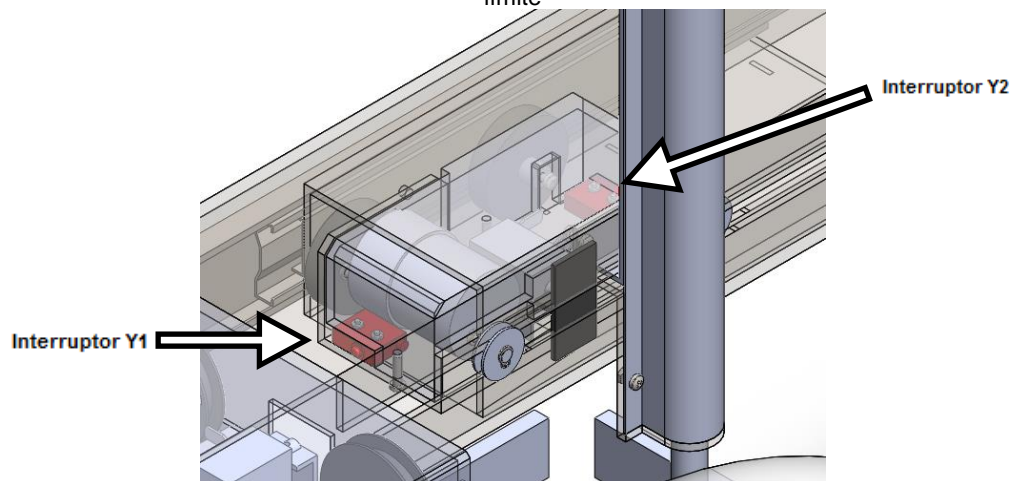


Fig. 3.2.12 Imagen detallada de la ubicación de los interruptores (en rojo) en el carro del eje Y

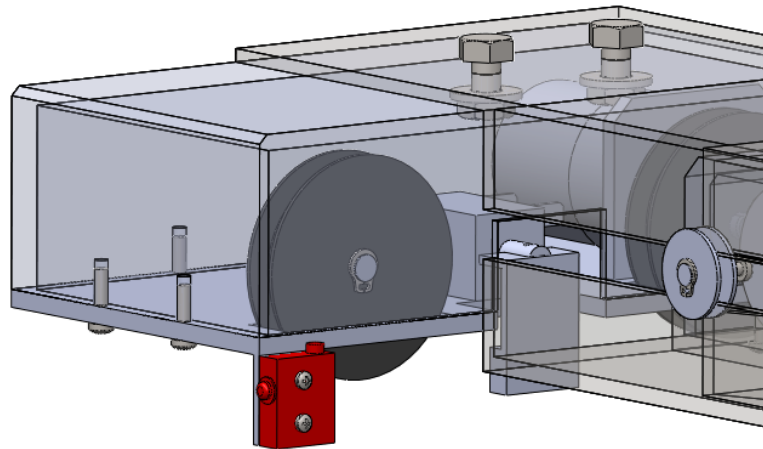


Fig. 3.2.13 Interruptor de límite (en rojo) en el carro X1

3.2.2.2 Interruptor de limite eje Z

Estos interruptores de límite se utilizan para detectar la llegada de la boca de sifón al fondo del acuario. Se usan 2 para abarcar un área mayor y deben presentar la mayor protección contra el agua, ya que siempre estarán sumergidos, por ello se seleccionan unos con grado de protección IP68. Estos interruptores se activan con una fuerza mínima de 2.5 N por lo cual son bastante sensibles. Sus características se indican en la tabla 3.2.7.



Fig. 3.2.14 Imagen referencial del interruptor, el usado en este trabajo cuenta con una palanca de miniactuador.

TABLA 3.2.7 Características del interruptor de límite para el eje Z

Marca	Microprecision Electronics
Modelo	MP3200-3MA/375/100/PVC
Grado de protección	IP68
Fuerza de activación	2.5 N

En las figuras 3.2.15 y 3.2.16 se observa la ubicación de los interruptores de límite en el eje Z.

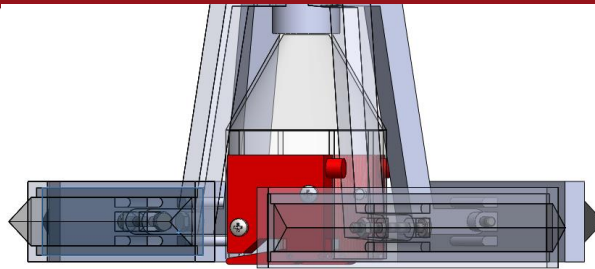


Fig. 3.2.15 En rojo, el interruptor con palanca instalado junto a la boca de sifón.

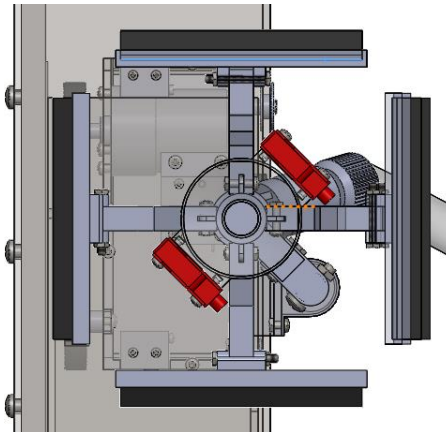


Fig. 3.2.16 Vista inferior de la disposición de los interruptores de límite.

3.2.2.3 Encoders de motor DC

Para el control de los motores del mecanismo XYZ, se acoplaron *encoders* a los motores Y y X1, trabajan de forma incremental, dando información sobre las posiciones de los motores y envían señales con frecuencia de hasta 30 kHz, por encima de la frecuencia que se enviará con los motores utilizados (hasta 0.833 kHz) debido a la velocidad de los motores de 9.5 RPM. Para ver detalle de cálculo ver anexo A-3. En la tabla 3.2.8 se indican las características del *encoder*.



Fig. 3.2.17 *Encoder* acoplado a un motor

TABLA 3.2.8 Características del *encoder*

Marca	Lynxmotion
Modelo	QME-01
Tipo	Incremental
Frecuencia máxima	30 kHz

3.3 Planos del sistema mecatrónico

La parte mecánica de la máquina está conformada por dos partes principales: el mecanismo XYZ y el mecanismo de succión y filtración.

3.3.1 Mecanismo XYZ

Esta parte es la encargada del desplazamiento de la boca de succión en 3 dimensiones para poder abarcar todo el fondo del acuario.

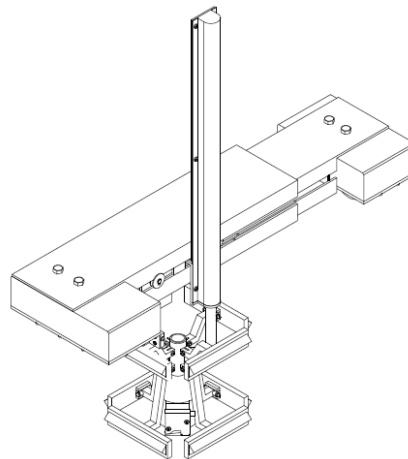


Fig. 3.3.1 Vista isométrica del mecanismo XYZ

En las siguientes secciones se explican las diferentes partes que conforman el mecanismo XYZ

3.3.1.1 Viga-eje

Es la estructura que funciona como puente, a través del cual el carro Y se desplaza. Está conformada por dos soportes, los cuales están unidos por un riel telescópico, el cual trabaja como una viga extensible.

En la figura 3.3.2 se observa la vista frontal de la viga-riel y como el carro Y se encuentra en su interior. Esta imagen es obtenida del plano de ensamble en el anexo C donde se observa el detalle de los globos de referencia.

También se puede observar la sujeción entre los carros X1 y X2 con la viga-eje mediante tornillos cuya selección se detalla en el anexo C, plano A0-01.

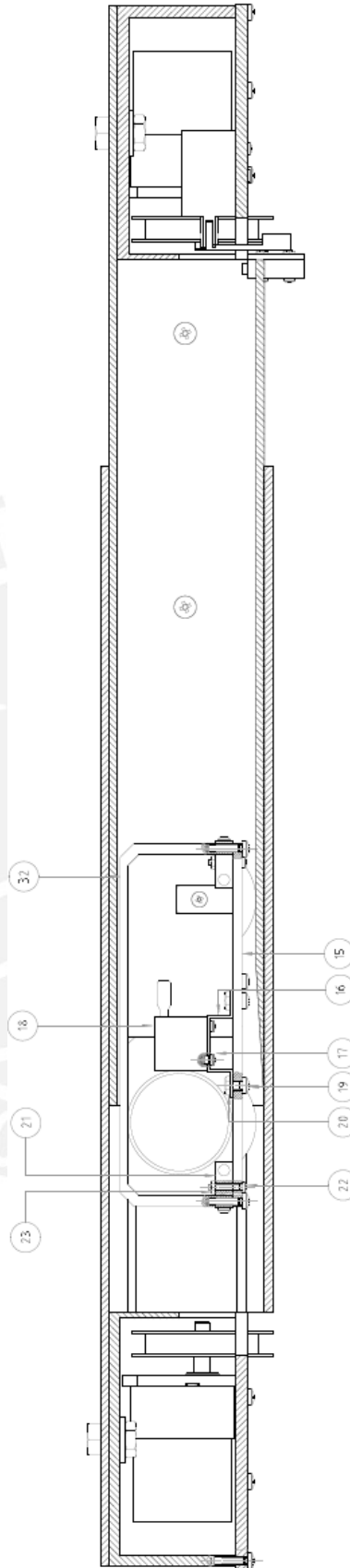


Fig 3.3.2 Vista en corte de de la viga-riel

En la figuras 3.3.3 y 3.3.4 se aprecian la vista isométrica y las dimensiones del soporte 1, obtenidas del plano de despiece del anexo C, plano A3-02.

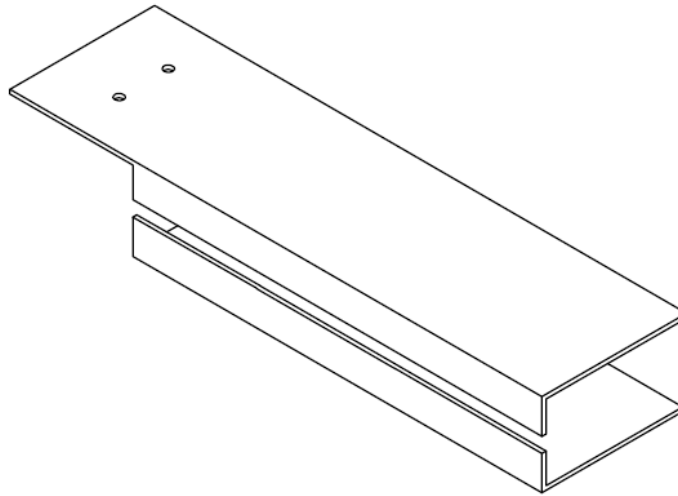


Fig. 3.3.3 Vista isométrica del Soporte 1

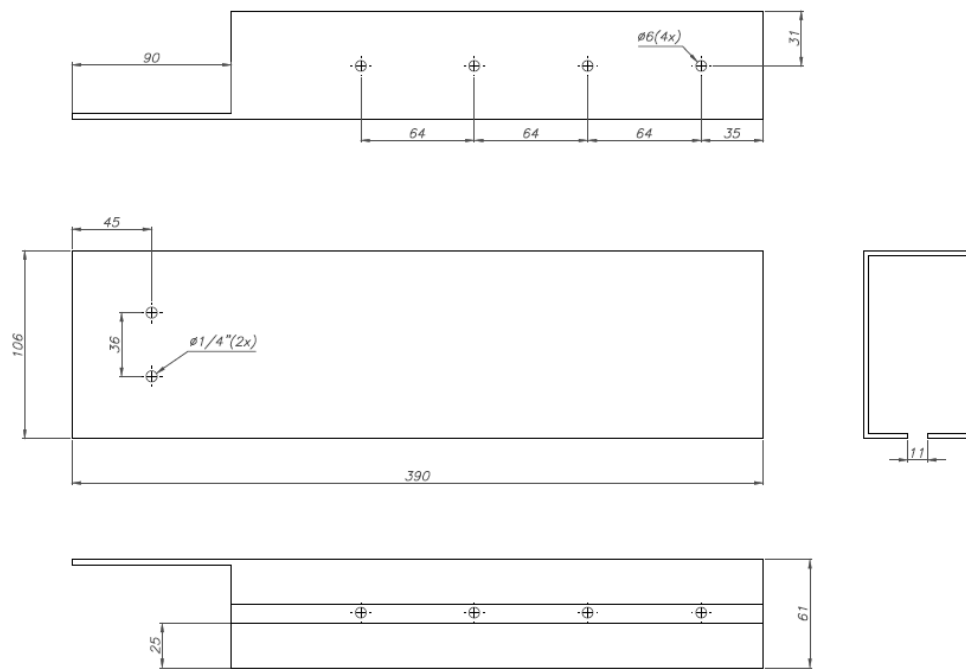


Fig. 3.3.4 Dimensiones del soporte 1

En la figura 3.3.5 se observa el despiece del soporte 2. Este debe presentar una rampa para suavizar el cambio de soportes cuando el carro Y se traslada de un soporte a otro.

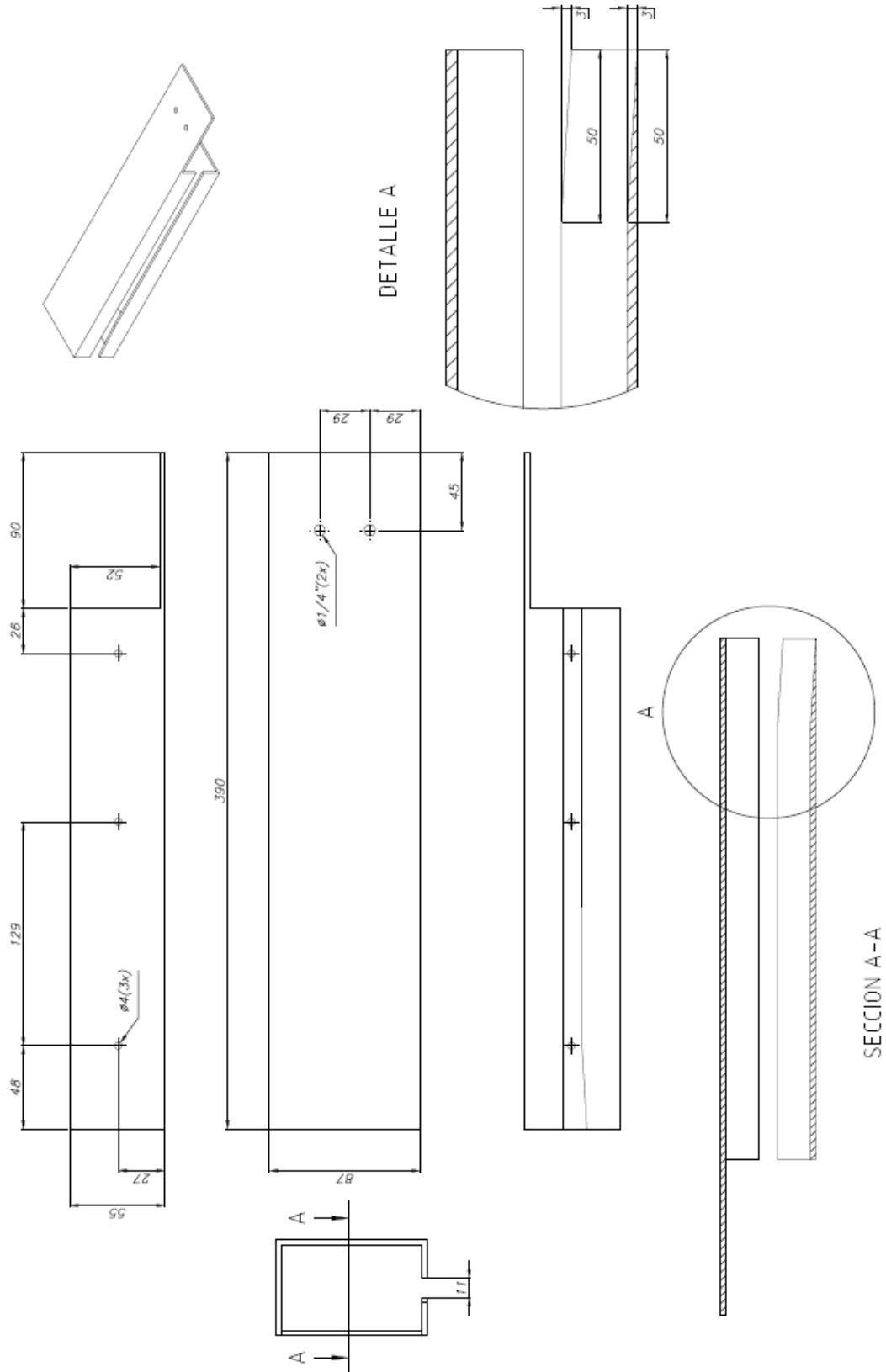


Fig. 3.3.5 Plano de despiece del soporte 2

3.3.1.2 Carro Y

Es el responsable del movimiento en el eje Y, se desplaza dentro de la viga-eje, usando ruedas guía.

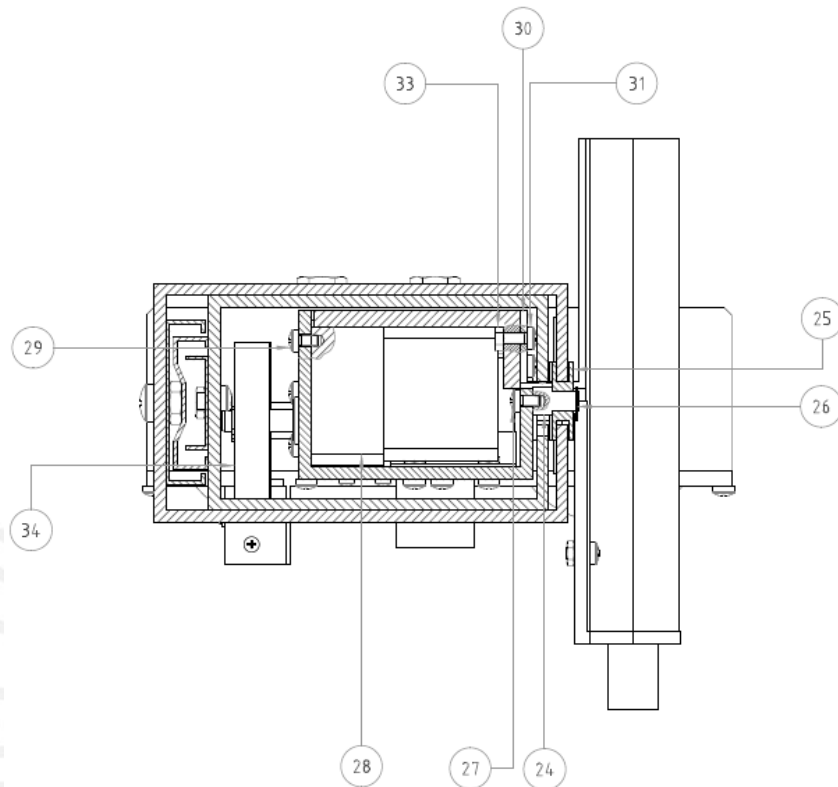


Fig. 3.3.6 Vista en corte del carro Y

En la figura 3.3.6 se observa el detalle de una imagen extraída del plano de ensamble del anexo C, plano A0-01 donde se observa un corte frontal del carro.

El elemento 28 es el motor. El elemento 25 es la rueda guía y el elemento 34 es la rueda accionada por el motor.

En la figura 3.3.2 se puede observar un corte lateral del carro Y. El elemento 18 es el solenoide Y y el elemento 21 es uno de los dos interruptores de límite Y.

3.3.1.3 Carros X1 y X2

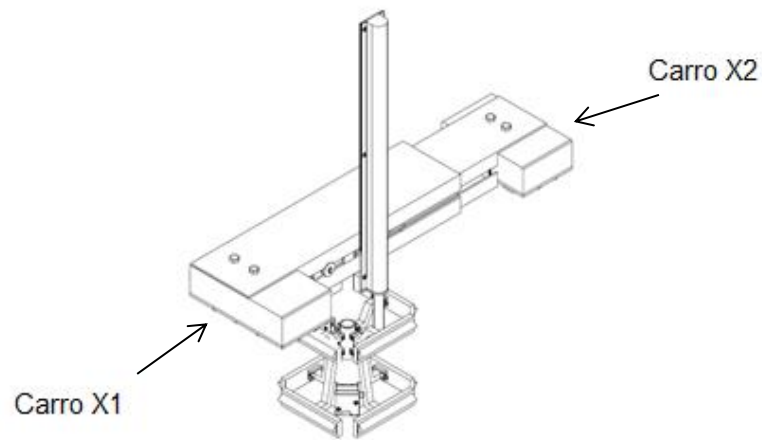


Fig. 3.3.2 Ubicación de los carros X1 y X2

Estos carros funcionan como el soporte de la viga-eje por donde se desplaza el carro Y, además del movimiento en el eje X, otorgando una doble tracción ya que cada carro posee 1 motor DC en su interior.

La figura 3.3.3. es una imagen extraída del plano de ensamble indicada en el anexo C, plano A0-01, el cual muestra un corte frontal del carro X1.

El elemento 54 es el solenoide que actúa como freno.

El elemento 57 es la rueda guía del carro impulsada por el motor DC, esta rueda se desplaza por el borde del acuario.

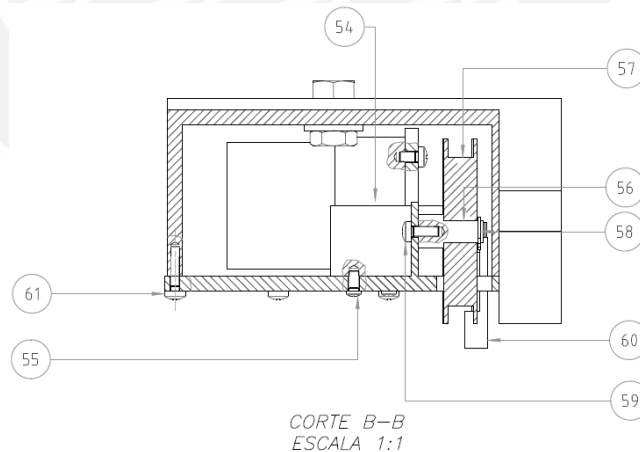


Fig. 3.3.3 Corte frontal de carro X1

En la figura 3.3.4 se muestra la vista isométrica de la base del carro X, cuyo material es acero inoxidable, debido a que se encuentra cercana al agua del acuario. Se aprecian los agujeros para la instalación del motor, el solenoide y el interruptor de límite X1.

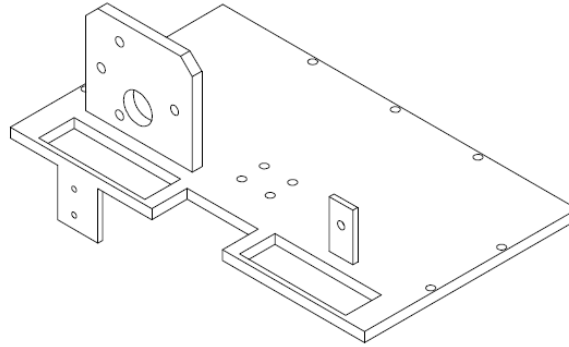


Fig. 3.3.4 Base del carro X1

En la figura 3.3.5 se pueden apreciar las dimensiones generales en milímetros de la base del carro X1, en el anexo C, plano A3-01 se puede apreciar el plano detallado de esta pieza.

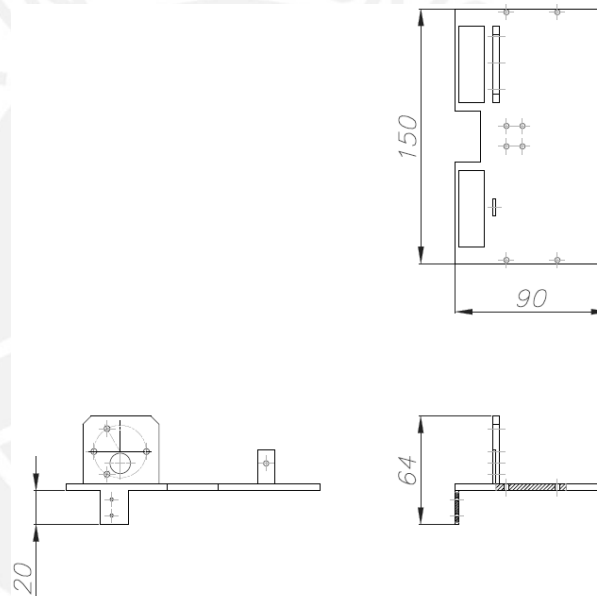


Fig. 3.3.5 Tres vistas de la base del carro X1

En la figura 3.3.6 se observa la tapa del carro X1, el cual soporta la viga-eje. Los tornillos de sujeción pasan por los agujeros en la parte superior de la tapa.

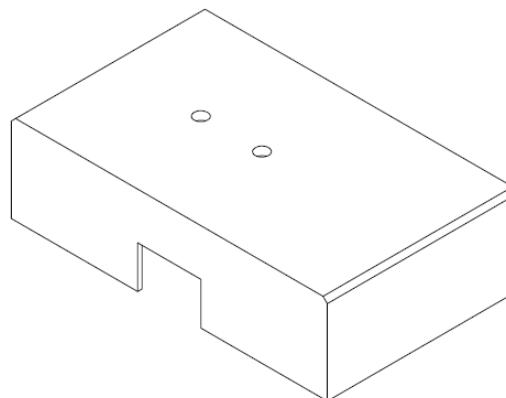
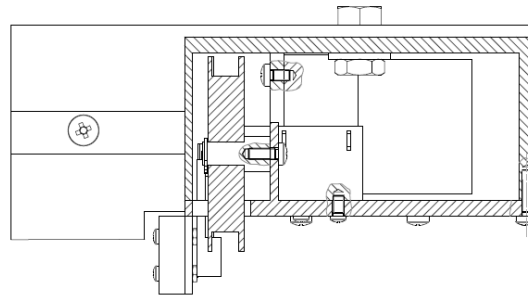


Fig. 3.3.6 Tapa del carro X1

El carro X2 es similar al carro X1 salvo algunas cotas que se indican detalladamente en el plano A3-04 del anexo C.



CORTE C-C
ESCALA 1:1

Fig. 3.3.7 Corte frontal de carro X2

3.3.1.4 Sistema de limpieza de vidrios

Está conformado por 8 brazos. Cada brazo presenta en su terminal una base para portar la goma que hará presión sobre el cristal y con el movimiento vertical del actuador lineal limpiará el cristal. En la figura 3.3.8 se aprecia una vista frontal del ensamble de los 8 brazos.

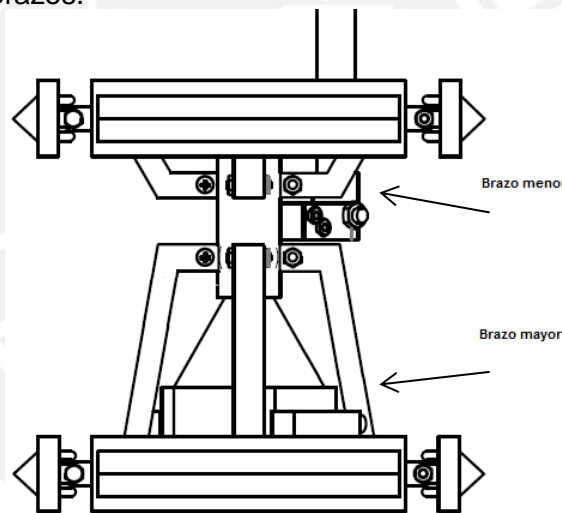


Fig. 3.3.8 Vista frontal de la disposición de los brazos limpiavidrios

Se presentan todos los elementos individualmente desde la figura 3.3.9 hasta la figura 3.3.13.

En la figura 3.3.9 se observa el despiece del brazo mayor, que son 4 en total y en la figura 3.3.10 el despiece del brazo menor, que son 4 y están acoplados encima de los brazos mayores. Se usaron 8 brazos en total, debido a que se debe tener alcance sobre las 4 paredes del acuario y para una mejor limpieza 2 brazos en la misma pared.

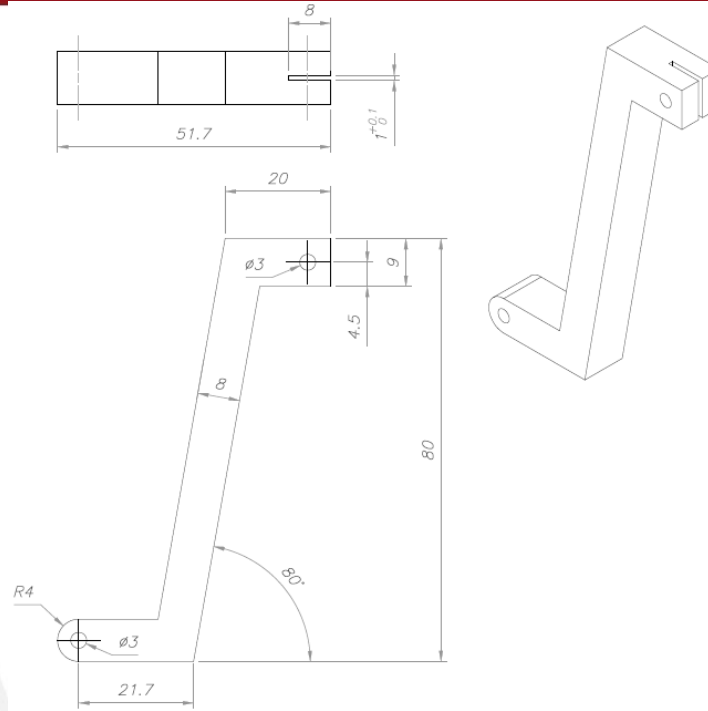


Fig. 3.3.9 Despiece de brazo mayor

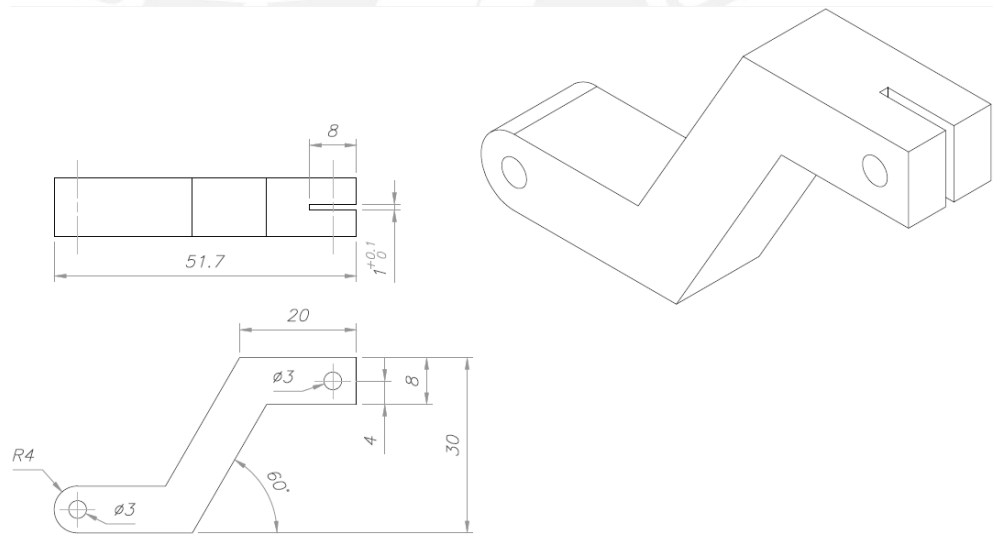


Fig. 3.3.10 Despiece de brazo menor

En la figura 3.3.11 se observa la base donde se acopla la goma limpiavidrios.

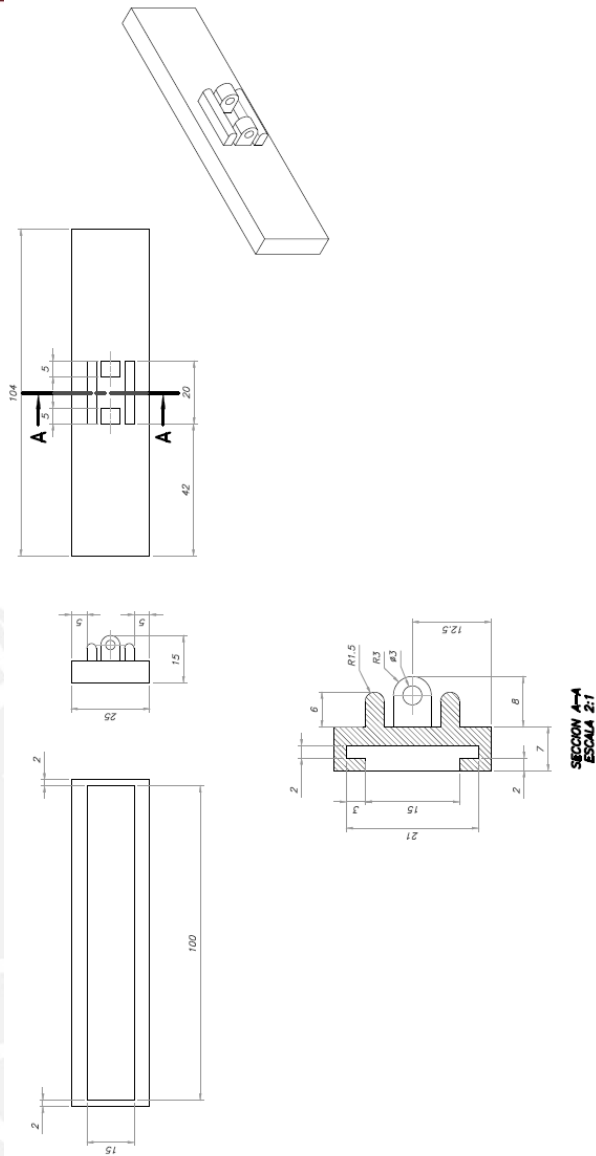


Fig. 3.3.11 Despiece de base limpiavidrios

En la figura 3.3.12 se aprecia el soporte de los 8 brazos limpiavidrios, este soporte a la vez se enrosca por la parte de abajo con la boca de sifón, el cual se aprecia en la figura 3.3.13

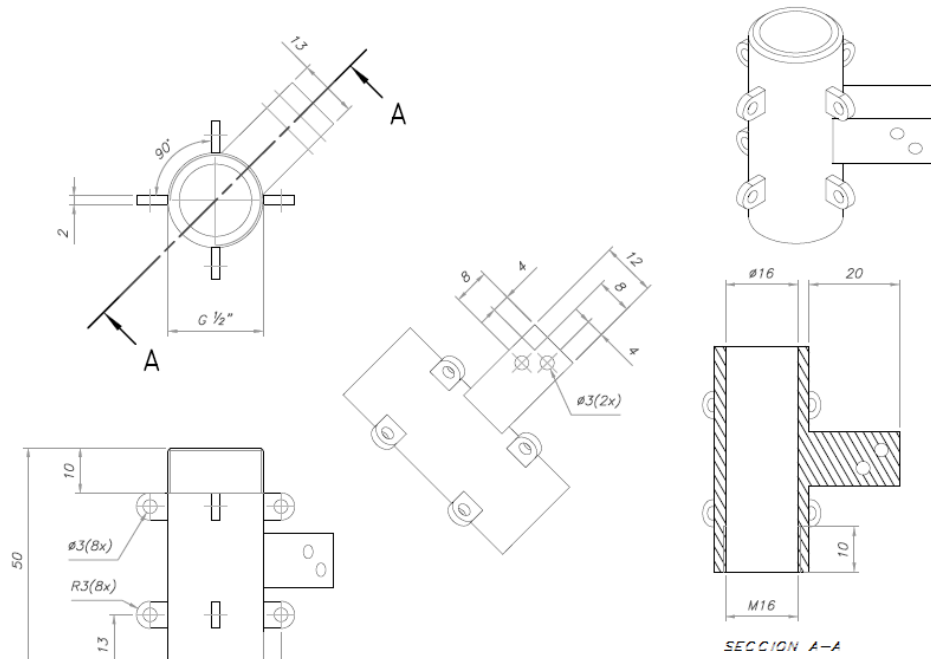


Fig. 3.3.12 Despiece del soporte para los 8 brazos limpiavidrios.

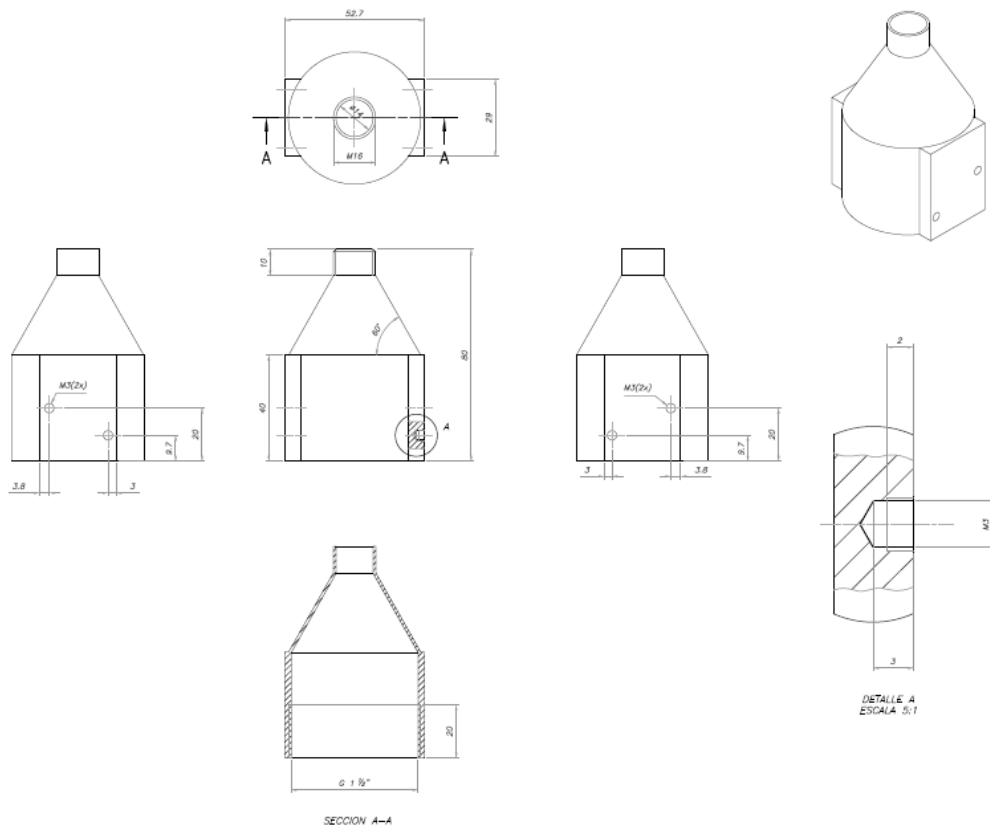


Fig. 3.3.13 Despiece de la boca de succión

La boca de succión (fig. 3.3.13) se enrosca al soporte de 8 brazos y está hecho de ertalyte, un material basado en polyester, resistente a los golpes, a la corrosión y bastante mecanizable.

Finalmente, en la figuras 3.3.14 y 3.3.15, extraídas del plano de ensamble del anexo C, plano A0-01, por eso la presencia de globos de referencia, se muestra el ensamble del mecanismo de limpieza de vidrios más la boca de succión.

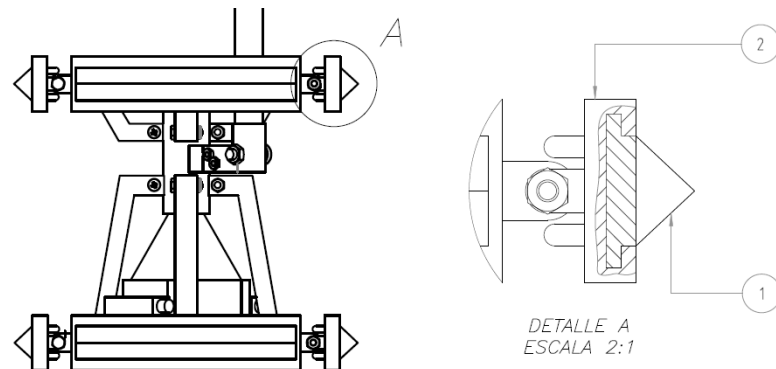


Fig. 3.3.14 Detalle del ensamble de la goma a la base limpiavidrios.

El elemento 1 es la goma y el elemento 2 la base.

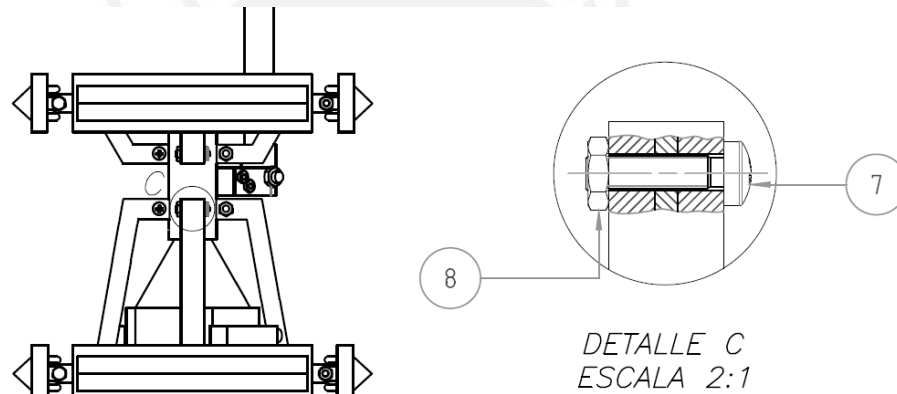


Fig. 3.3.15 Detalle del ensamble del brazo limpiavidrios al soporte de brazos.

Los elementos 7 y 8 son el tornillo y la tuerca respectivamente, indicados con detalle en el plano A0-01.

3.3.2 Mecanismo de succión y filtración

Consta básicamente de un soporte colgante para la bomba y el filtro. En la figura 3.3.16 se aprecia el despiece del soporte colgante, cuyo material es ertalyte, debido a que no soporta un peso apreciable. La bomba pesa 300 g y el filtro 700 g.

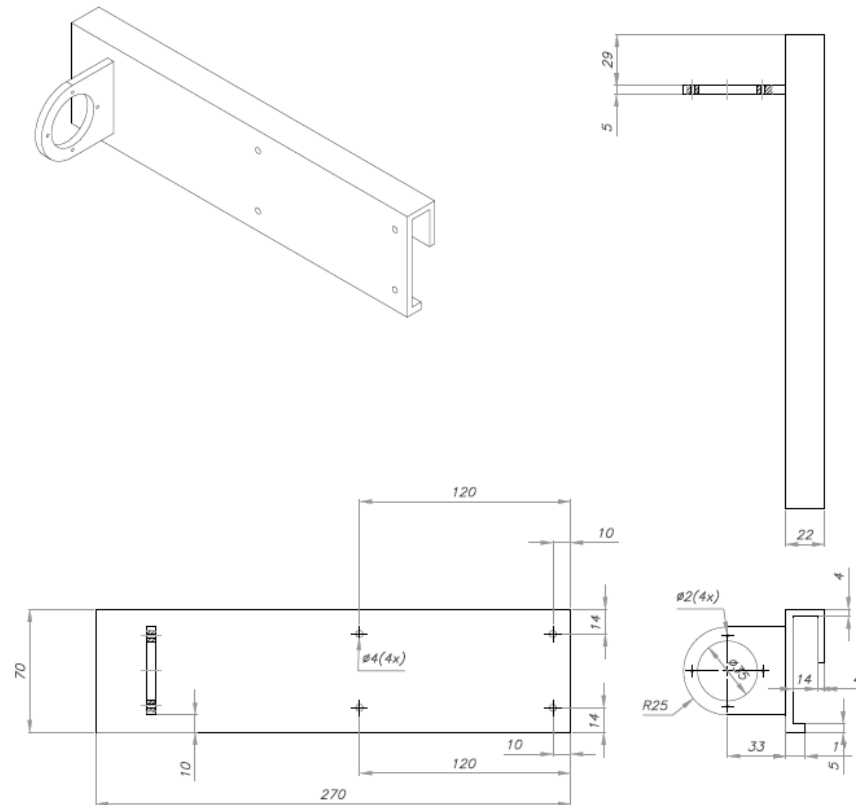


Fig. 3.3.16 Despiece del soporte de la bomba y filtro

Este soporte va sujetado en la parte superior del cristal frontal, sin interferir con el movimiento del mecanismo XYZ.

En la figura 3.3.17 se observa el ensamble del mecanismo de succión y filtración, extraído del plano del anexo C, plano A2-05.

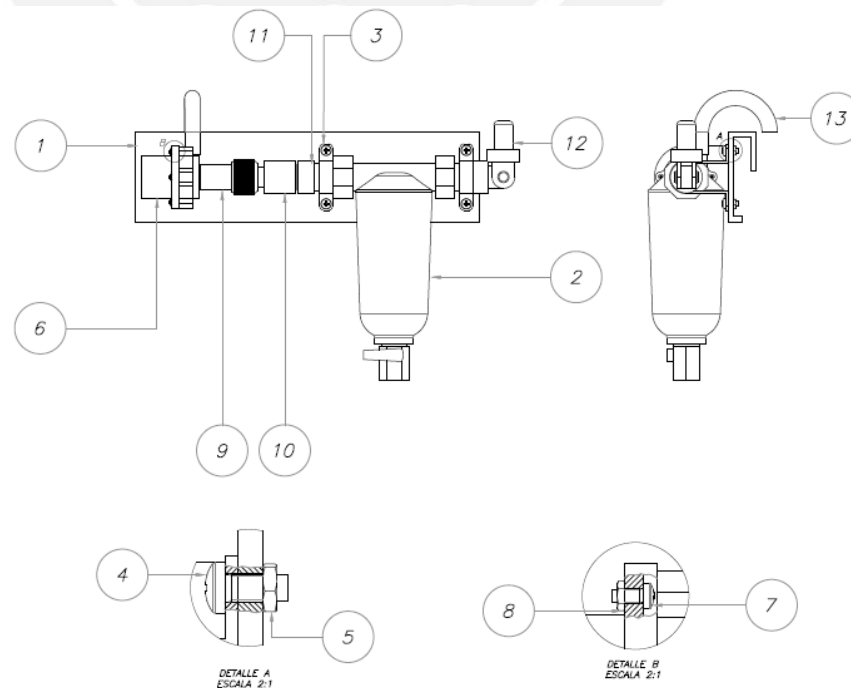
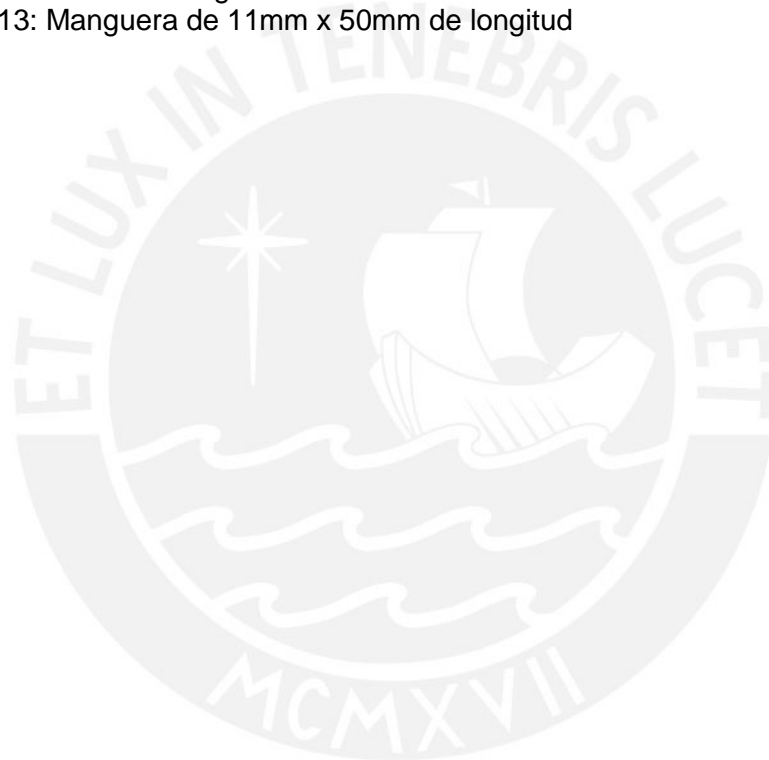


Fig. 3.3.17 Ensamble del mecanismo de succión y filtración

La numeración de los globos de referencia indica el orden en que se instala este mecanismo.

Los elementos en orden son:

- 1: Soporte
- 2: Filtro de 100 micras
- 3: Agarradera
- 4: Tornillo M2x16
- 5: Tuerca M2
- 6: Bomba DC
- 7: Tornillo M4X10
- 8: Tuerca M4
- 9: Manguera de 19mm de 25 mm de longitud
- 10: Conector rápido de mangueras de 19mm
- 11: Conector macho roscado
- 12: Conector de grifo articulado
- 13: Manguera de 11mm x 50mm de longitud



3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

La máquina fue diseñada para que sea controlada por un Controlador Lógico Programable, debido a la cantidad de actuadores y sensores presentes, además de poder controlar directamente actuadores de alta potencia con sus salidas tipo relé.

Sin embargo, el PLC no puede ser conectado directamente a algunos de los actuadores y sensores ya que estos trabajan con voltajes diferentes, por lo que se diseñaron tarjetas electrónicas con el fin de acondicionar las señales.

El PLC usado es el D0-05DD de la marca Automation Direct (anexo C) , el cual cuenta con 8 entradas digitales y 6 salidas digitales, además se usará un módulo de expansión con 8 salidas tipo relé.

En la figura 3.4.1 se presenta un diagrama del control del sistema.

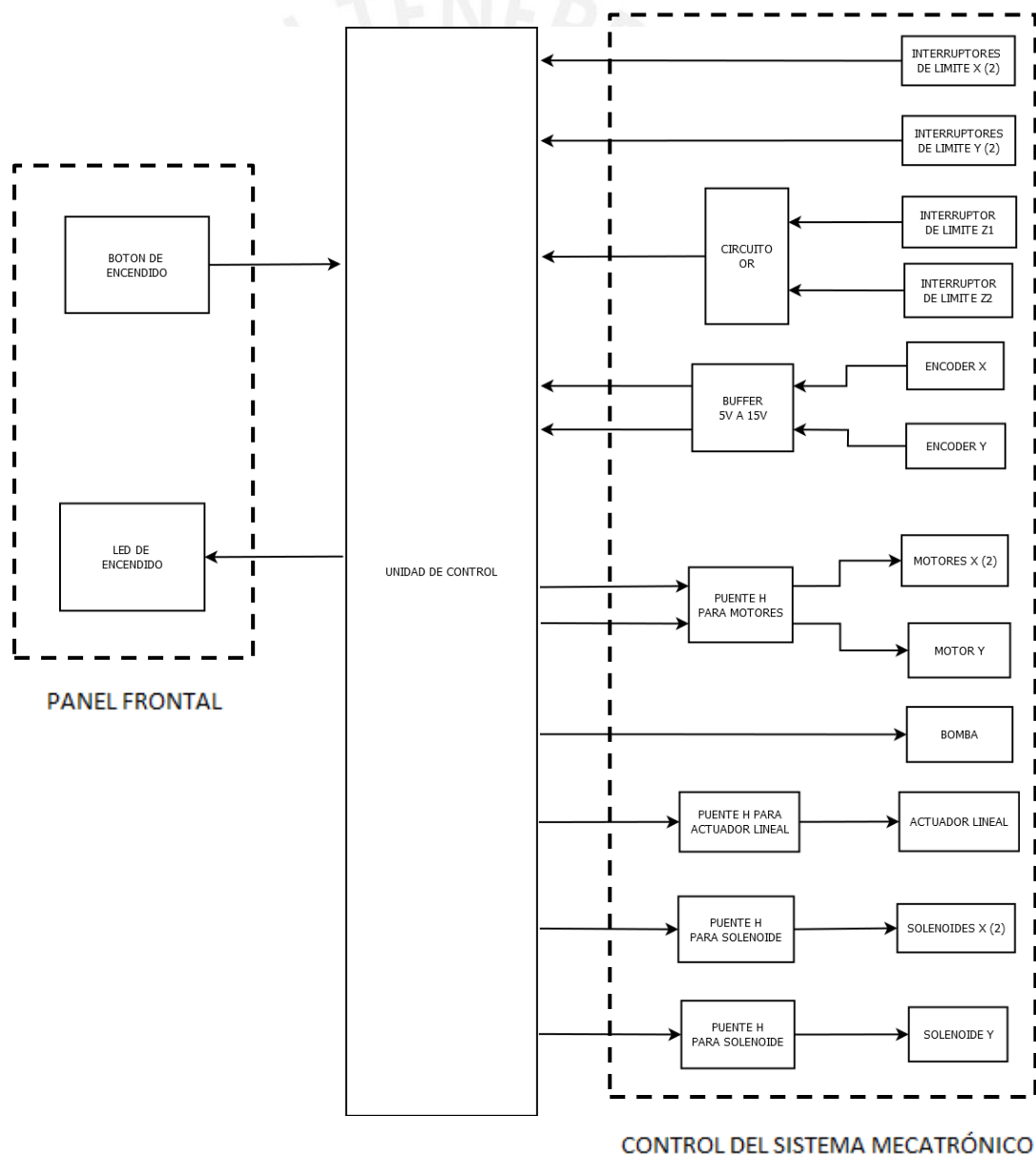


Fig. 3.4.1 Diagrama de control del sistema.

Este diagrama no indica las conexiones físicas de los elementos, sino que indica las entradas y salidas del PLC relacionadas a la cantidad de sensores y actuadores que controlará.

Los ítems a la izquierda de la unidad de control son los de interfaz humana y los del lado derecho las conexiones internas con los sensores y actuadores del sistema.

Para el diseño de las tarjetas de acondicionamiento se debe conocer de manera específica la cantidad de entradas y el tipo de estas.

A continuación se presenta una tabla de todos los tipos de salidas y entradas de las que se encarga el PLC.

TABLA 3.4.1 Señales usadas por el PLC

	TIPO	VOLTAJE	VOLTAGE ACONDICIONADO	INTENSIDAD DE CORRIENTE	FRECUENCIA	TIPO DE CONEXION
ENTRADAS	Interruptor de Limite	24 VDC	24 VDC	5 mA	-	Directo - Digital
	Encoder	5 VDC	15 VDC	0.25 mA	0.833 kHz máx.	Acondicionado - Digital
SALIDAS	Motor	24 VDC	7.2 VDC	500 mA aprox.	Hasta 7 kHz	Acondicionado - Relé
	Bomba	24 VDC	24 VDC	63 mA	-	Directo - Relé
	Actuador Lineal	24 VDC	24 VDC	0.1 A	-	Acondicionado con Puente H - Relé
	Solenoides	24 VDC	24 V en directo 16 V en reversa	0.2 A	-	Acondicionado con Puente H - Relé

Las intensidades de corriente han sido calculadas en función del voltaje de cada dispositivo y la carga que soportan, cuyos cálculos se detallan en el anexo A-1.

Una vez identificados todos los elementos involucrados, se muestran los circuitos eléctricos y electrónicos necesarios para el control de la máquina.

3.4.1 Planos eléctricos

En la siguiente figura se explica la fase de alimentación desde una toma de 220 VAC a 60 Hz.

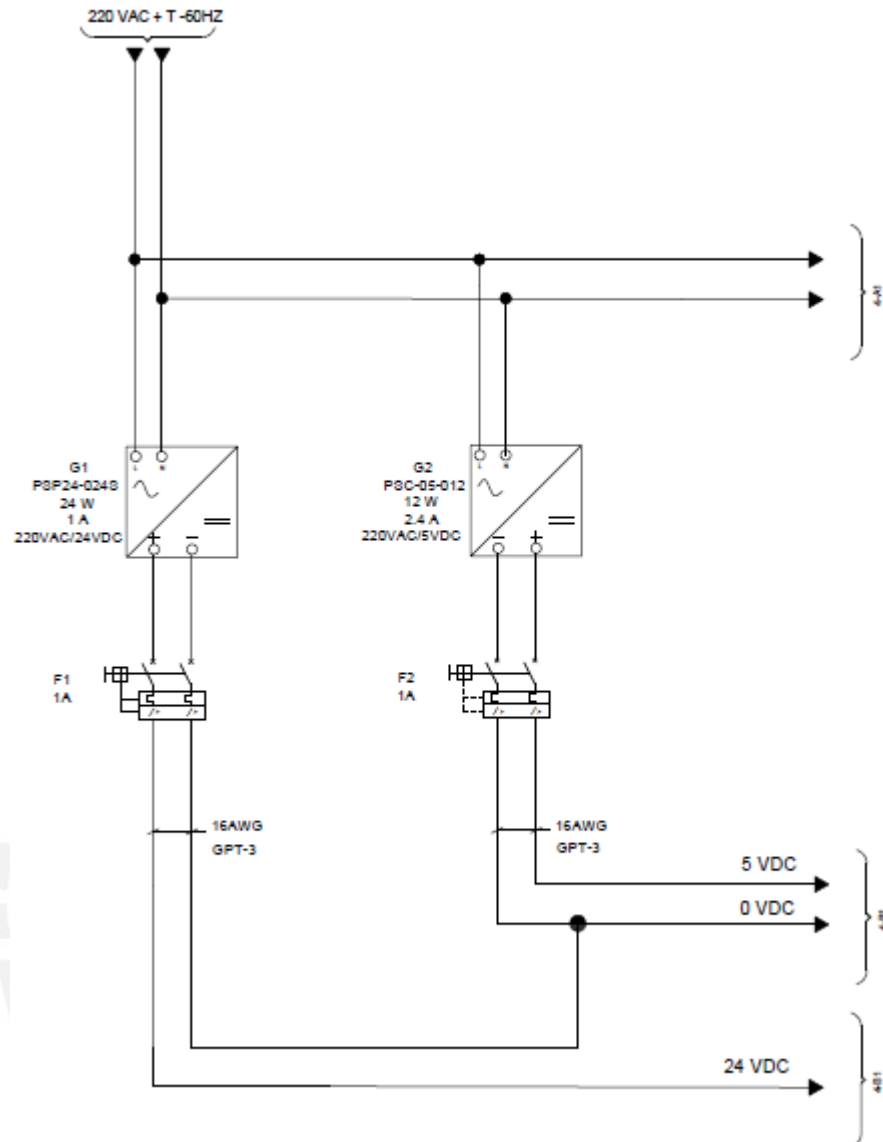


Fig. 3.4.2 Circuito de alimentación

De la figura 3.4.2 los elementos G1 y G2 son las fuentes de voltaje de 24 VDC y 5 VDC respectivamente, ambos calculados según la potencia requerida por todos los elementos, tanto actuadores, sensores y tarjetas electrónicas. Este cálculo está indicado en el anexo A-4.

Los elementos F1 y F2 son los disyuntores de seguridad en caso de corto circuito.

Las líneas de voltaje indican que serán usadas en los siguientes planos.

En la figura 3.4.3 se indican las conexiones necesarias para la alimentación del PLC, además de los *encoders* con sus respectivos VCC y GND, además del buffer, necesaria para convertir las señales de 5 VDC a 15 VDC, ya que el PLC sólo acepta señales mayores a 6 VDC. En los planos eléctricos indicados en el anexo C se puede apreciar el detalle de las conexiones.

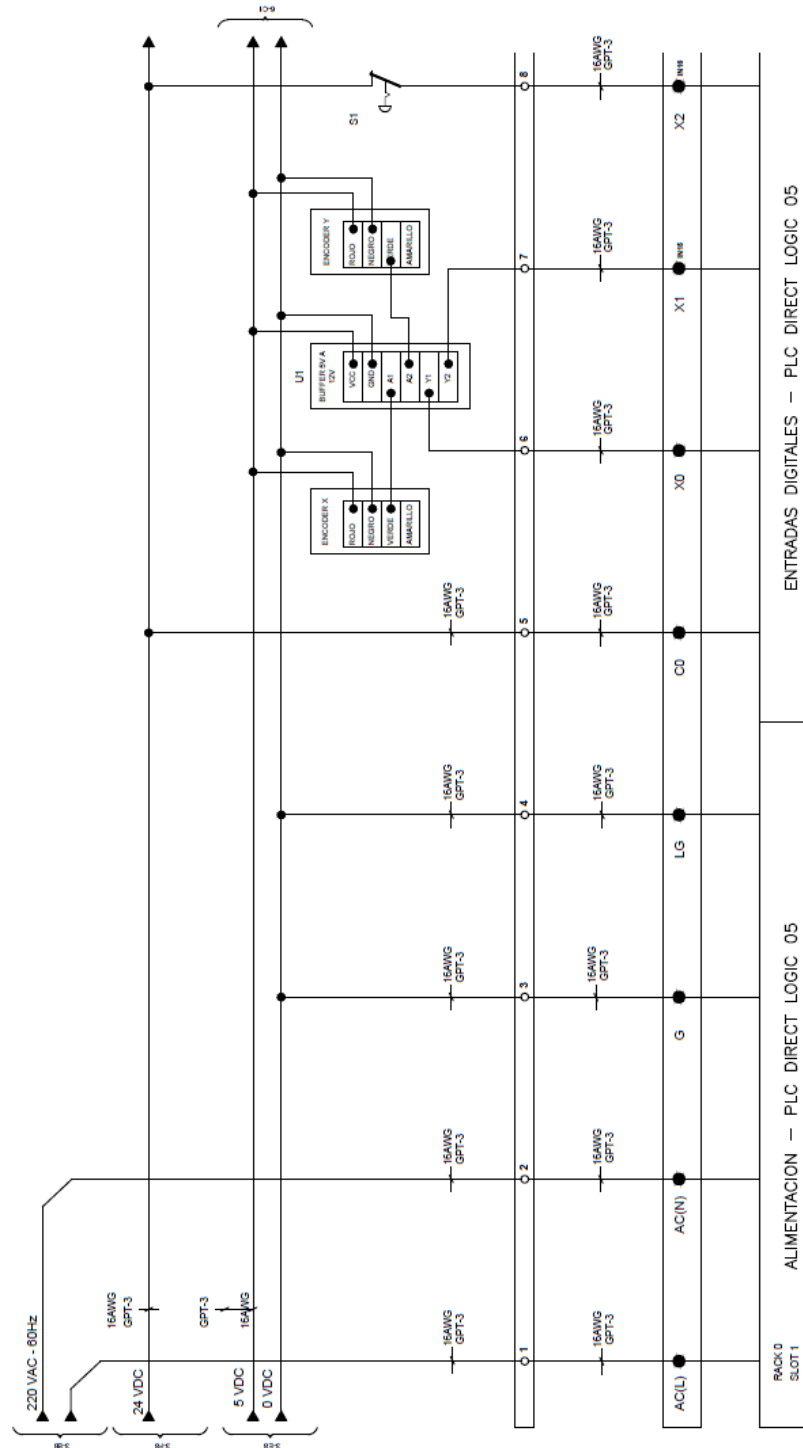


Fig. 3.4.3 Circuito de conexiones del PLC y de los *encoders* con su tarjeta de acoplamiento.

En la figura 3.4.4 están las conexiones de todos los interruptores de límite. En estado de reposo la señal recibida por el PLC es de 0 VDC, cuando son activados, las señal recibida es de 24 V. En el caso de los interruptores Z1 y Z2, los cuales detectan que el sifón llegó al fondo del acuario, basta que uno de ellos se active para indicar que se tocó fondo, por lo que ambos están conectados a una tarjeta "OR", la cual se muestra el esquemático en la figura 3.4.9.

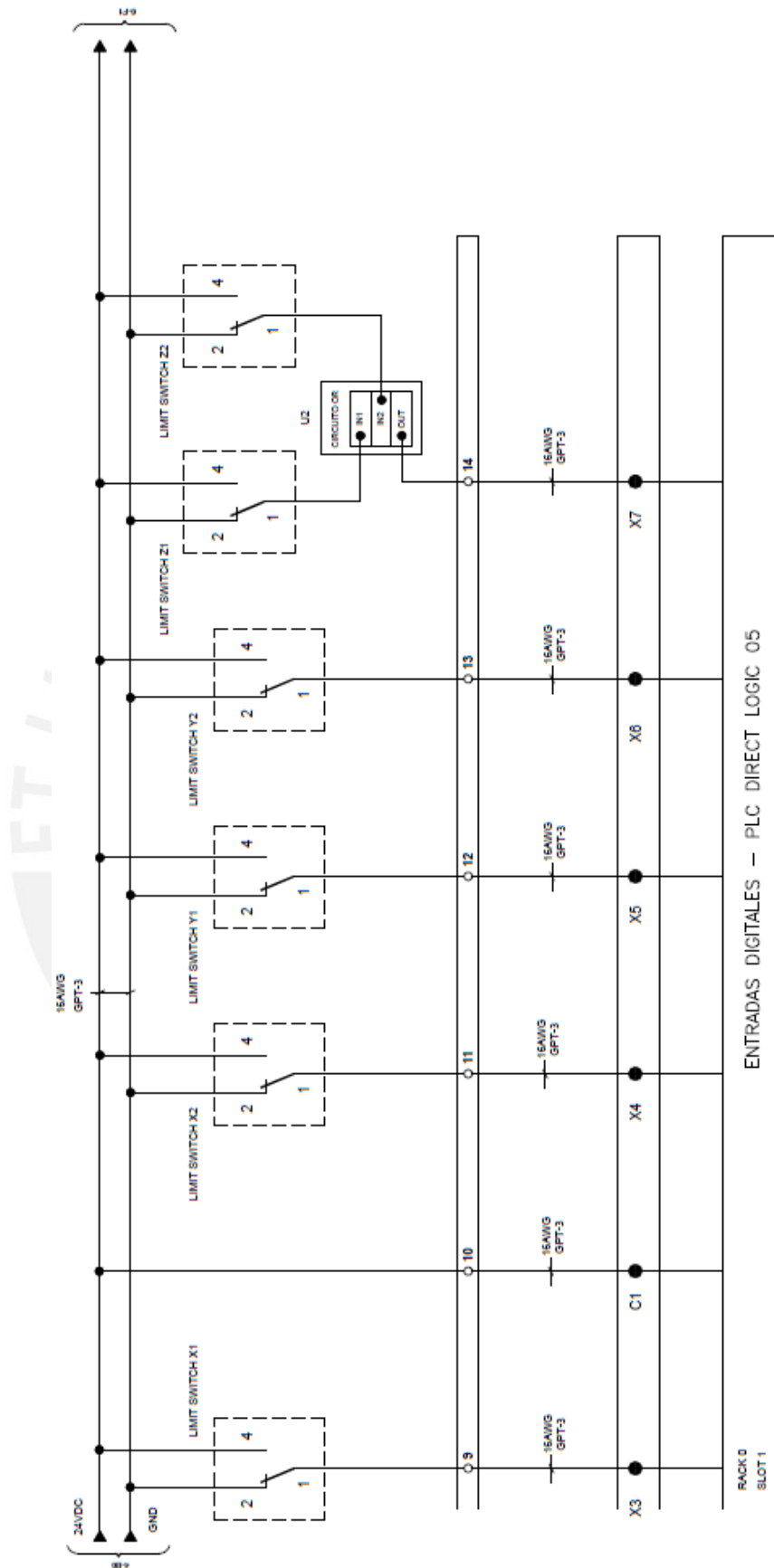


Fig. 3.4.4 Circuito de conexiones en entradas digitales, continuación de la figura 3.4.3

En la figura 3.4.5 se observan las conexiones de salidas digitales del PLC, estas salidas son usadas para el control de los motores Y (M3), X1 (M1) y X2 (M2), estos dos últimos en paralelo ya que originan el movimiento de la máquina en el mismo eje. El elemento U3 es el puente H para motores, el cual es una tarjeta electrónica cuyo esquemático está presentado más adelante.

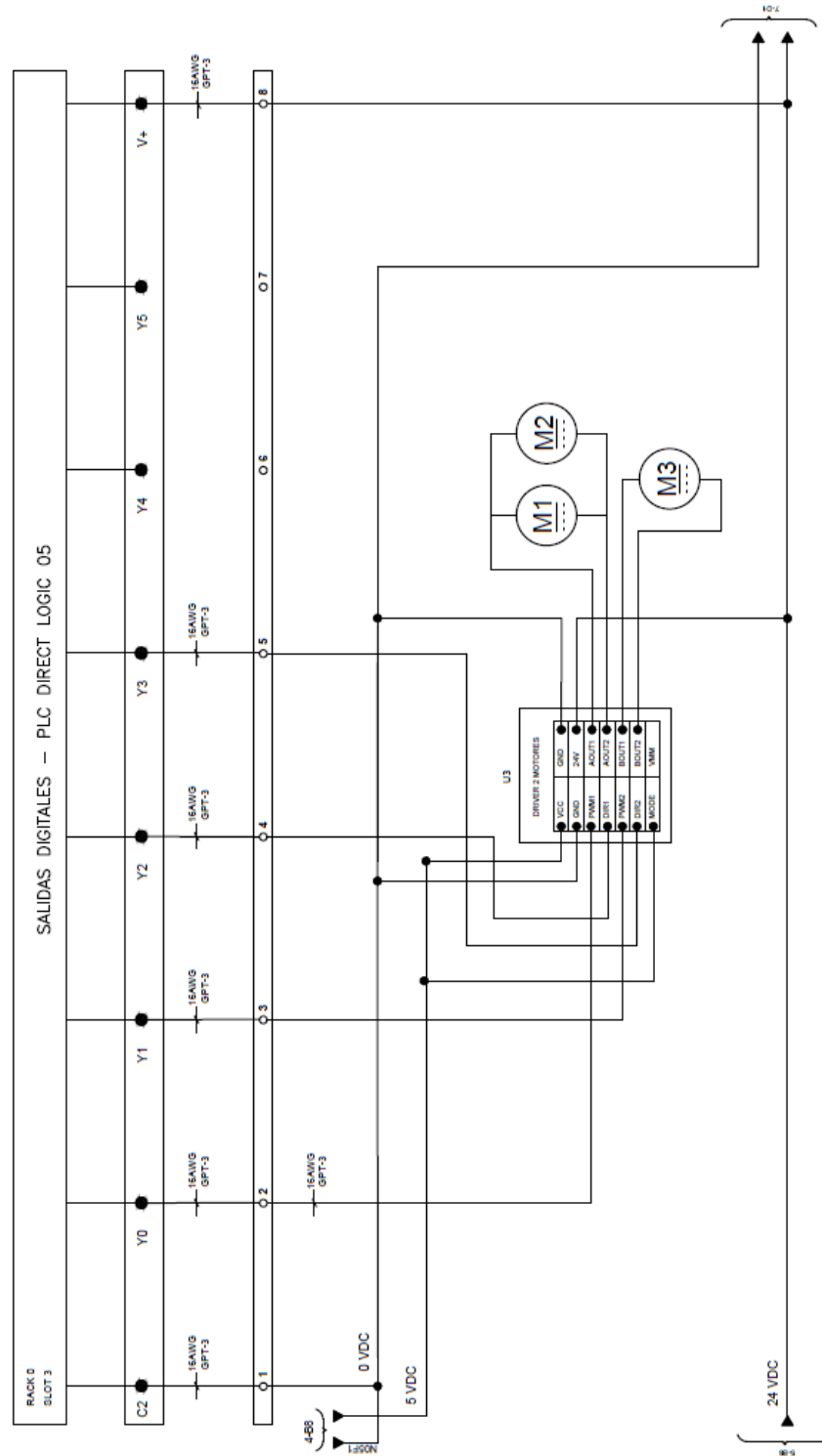


Fig. 3.4.5 Circuito de conexiones de salidas digitales del PLC

En la figura 3.4.6 se observan las conexiones necesarias para el control de la bomba, el actuador lineal y el solenoide Y.

La bomba se controla en modo ON/OFF por lo que está conectado directamente al PLC y la alimentación de 24 VDC.

El actuador lineal funciona a carrera completa y a inicio de carrera, por lo que es necesario un puente H indicado por el elemento U4 (fig. 3.4.6).

El solenoide Y al igual que el actuador lineal trabaja en dos estados, activado y contraído, por lo que también se necesita un puente H, sin embargo trabaja con un voltaje distinto en contracción, por lo que el puente H presenta una modificación al puente H usado para el actuador lineal. (fig. 3.4.6).

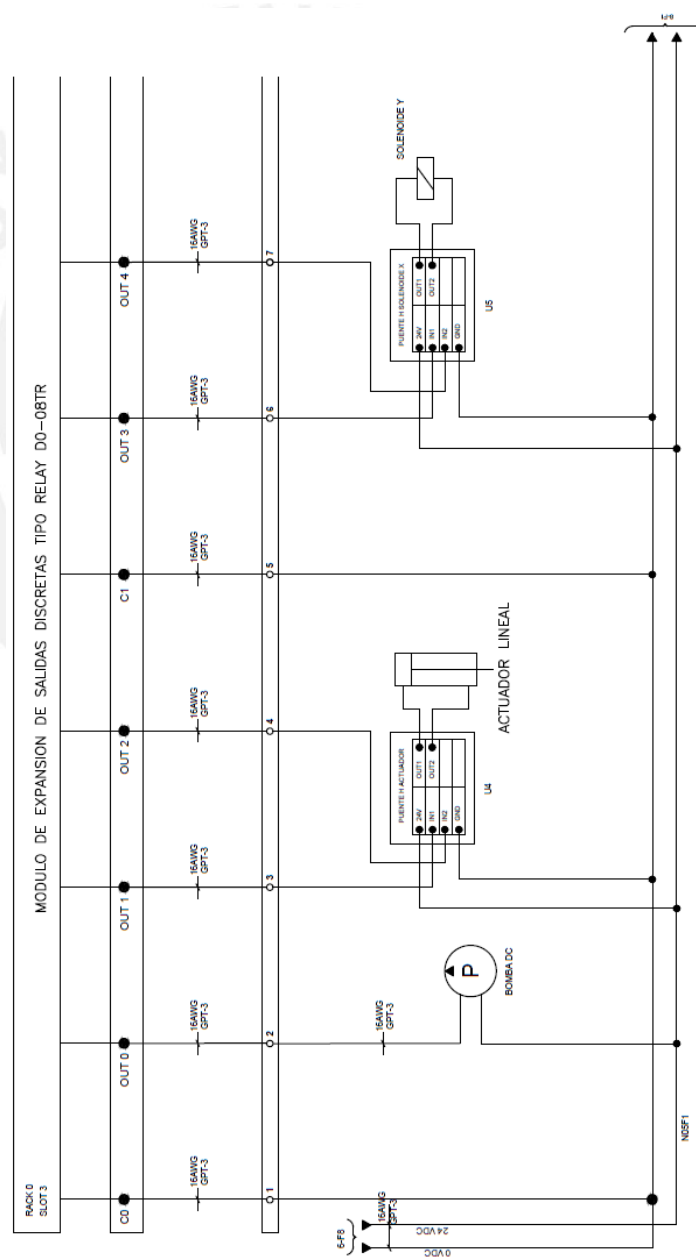


Fig. 3.4.6 Conexiones del módulo de expansión de salidas discretas tipo Relé.

En la figura 3.4.7 se indican las conexiones de los solenoides X1 y X2, los cuales trabajan en paralelo ya que los dos trabajan en el mismo eje. El elemento U6 es el puente H necesario para controlar estos solenoides.

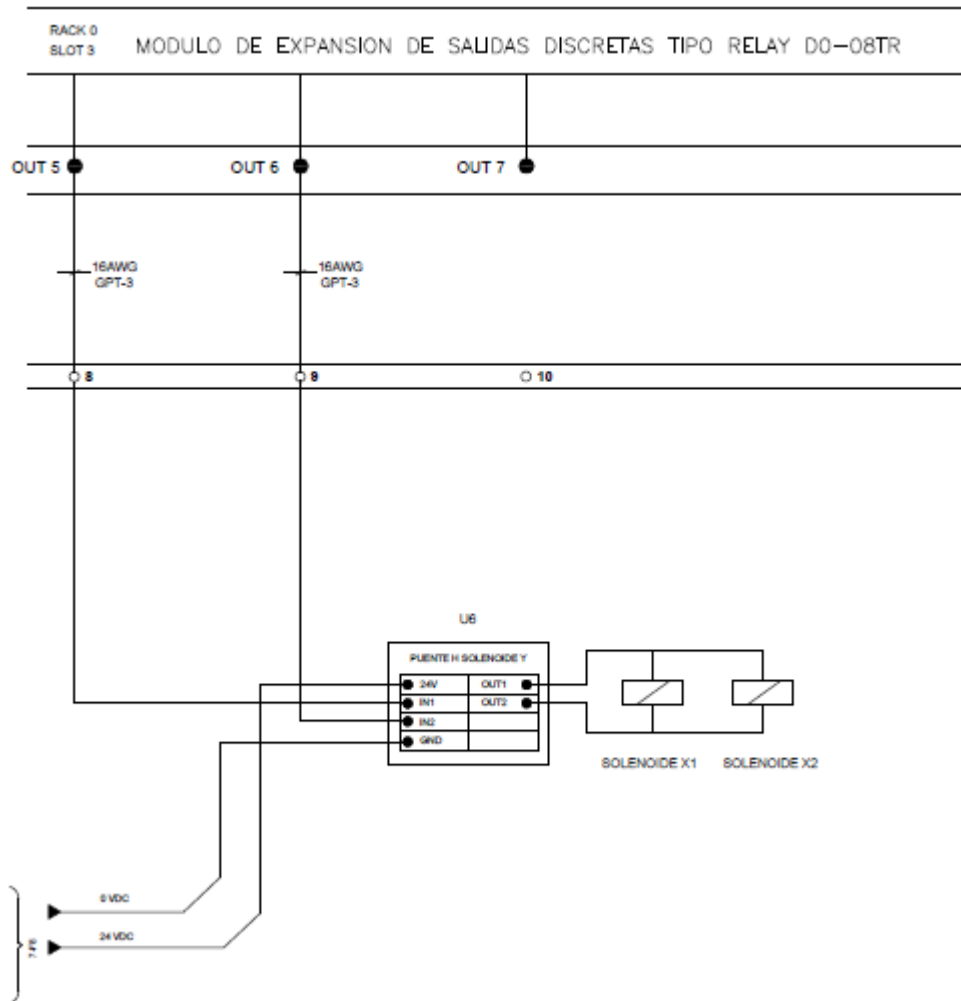


Fig. 3.4.7 Conexiones del módulo de expansión de salidas tipo Relé, continuación de la fig. 3.4.6.

3.4.2 Diagramas esquemáticos

3.4.2.1 Buffer 5 VDC a 15 VDC

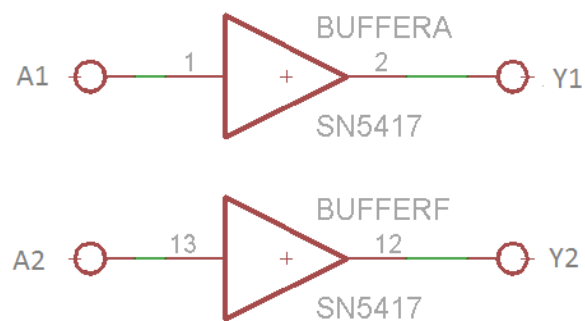


Fig. 3.4.8 Circuito esquemático buffer

El propósito de este circuito es convertir las señales de 5 VDC enviada por los *encoders* a 15 VDC para que el PLC pueda trabajar con ellas (Fig. 3.4.6.).

3.4.2.2 Circuito OR

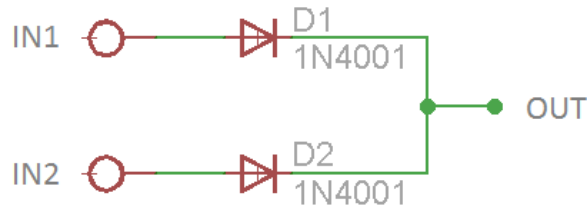


Fig. 3.4.9 Circuito OR

En este circuito OR, basado en diodos, las entradas son las señales de los interruptores de limite Z1 y Z2, basta que uno de ellos sea activado para que la señal de salida sea activada.

3.4.2.3 Puente H para motores DC

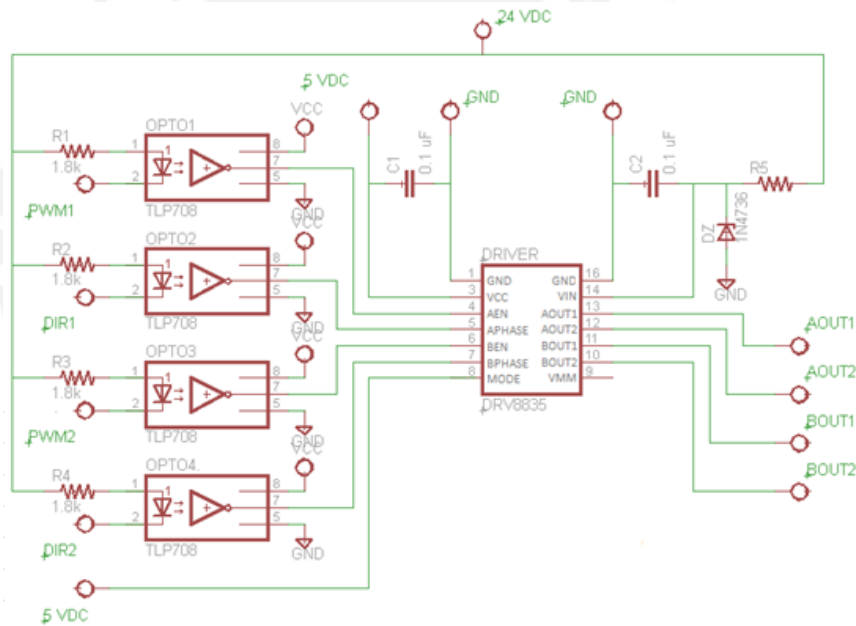


Fig. 3.4.10 Circuito Puente H para control de los motores DC

Para el diseño de este puente H, se usó el driver DRV8835 capaz de controlar 2 motores DC simultáneamente. Este driver puede trabajar en dos modos, para este diseño se usó el modo phase-enable, con el cual se puede controlar un motor con una señal PWM (pin AEN y BEN) para la velocidad y otra señal indicando la dirección del movimiento (pin APHASE y BPHASE). Soporta entradas PWM de hasta 250 kHz.

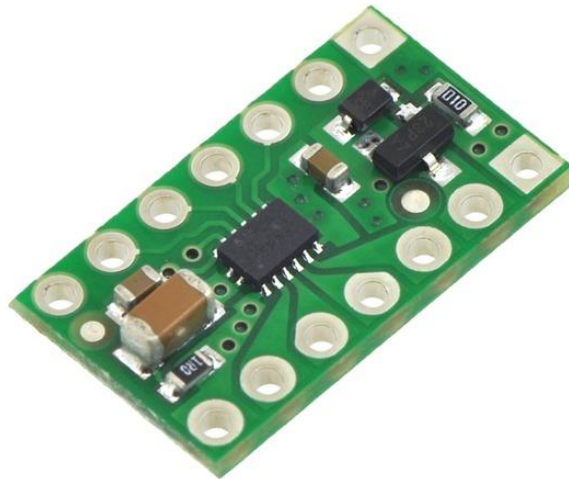


Fig. 3.4.11 Driver dual para motores DC DRV8835

Los optoacopladores rápidos TLP08 sirven para acondicionar físicamente las salidas del PLC además como medida de protección, ya que el driver y el PLC están aislados. Estos optoacopladores son especialmente diseñados para transmitir señales PWM y cuentan con un tiempo de cambio (switching time) de hasta 75 ns. Las señales PWM a serán de hasta 7 kHz, soportable por el optoacoplador TLP08.

Para la alimentación de los motores, se usa un diodo zener a modo de regulador, ya que la entrada es de 24 VDC y los motores trabajan con un voltaje entre 6 y 7.2 VDC. El cálculo del diodo zener se encuentra en el anexo A-2.1.2

Los capacitores de 0.1 uF agregados para desacoplar los circuitos integrados de sus fuentes de alimentación son recomendados por el fabricante.

Los cálculos de las resistencias se indican en el anexo A-2.1.2

3.4.2.4 Puente H Actuador Lineal

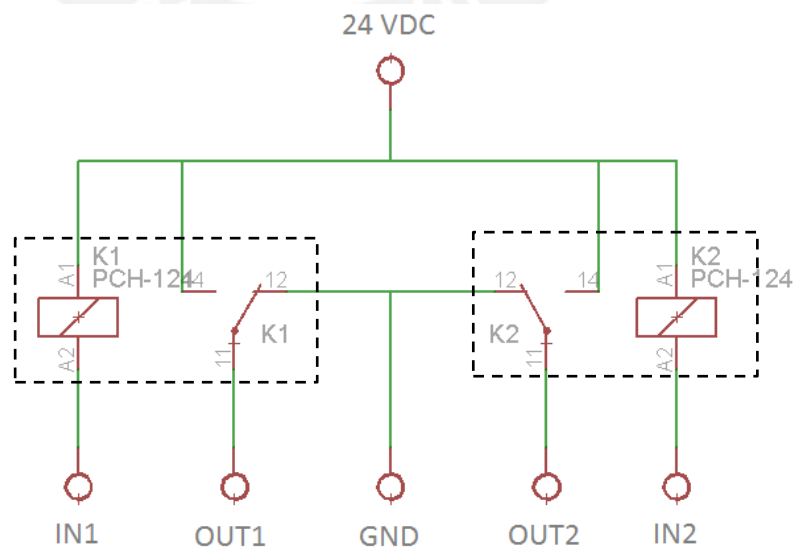


Fig. 3.4.12 Circuito Puente H para actuador lineal

En la figura 3.3.13 las entradas IN1 y IN2 están conectadas a las salidas tipo relé del PLC,

En reposo las salidas OUT1 y OUT2 están a 0 VDC, cuando una entrada es activada, el relé se energiza y conecta su salida (OUT1 o OUT2) a 24 VDC.

Si ambos relés son energizados a la vez, no habría diferencia de potencial en el actuador y este simplemente no trabaja,

Se usaron relés para acondicionar físicamente las salidas del PLC, además de aislar las conexiones.

3.4.2.5 Puente H Solenoides

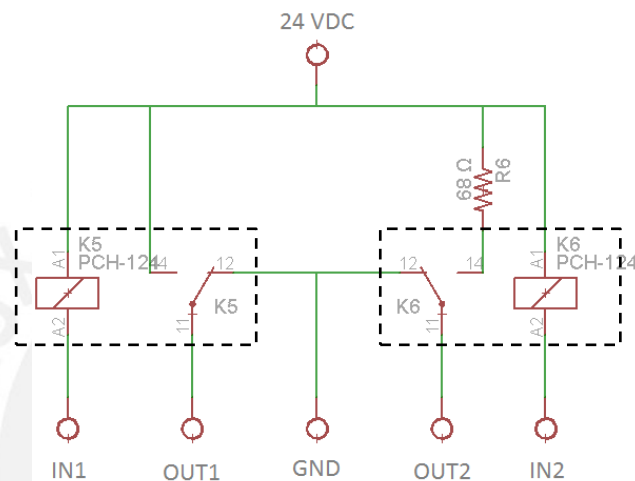


Fig. 3.4.13 Circuito Puente H para solenoides

El puente H para solenoides es similar al del actuador lineal, la diferencia es que el solenoide trabaja con 24 VDC para activarse y necesita solo 15 – 17 VDC en inversa para retraerse, por lo que se usa una resistencia de 68 Ω como divisor de voltaje para cuando se desee retraer el solenoide con que se está trabajando, entonces el relé K6 se activa y se envía un voltaje en el rango deseado, el cálculo se puede apreciar en el anexo A-2.2.

3.4.3 Tarjetas físicas

A partir de los diagramas esquemáticos de las tarjetas electrónicas usadas, se diseñan las tarjetas en físico para conocer sus dimensiones y poder realizar su posterior instalación en el tablero de control.

A continuación se muestran todas las tarjetas con sus medidas referenciales en milímetros, desde la figura 3.4.14 hasta la figura 3.4.18.

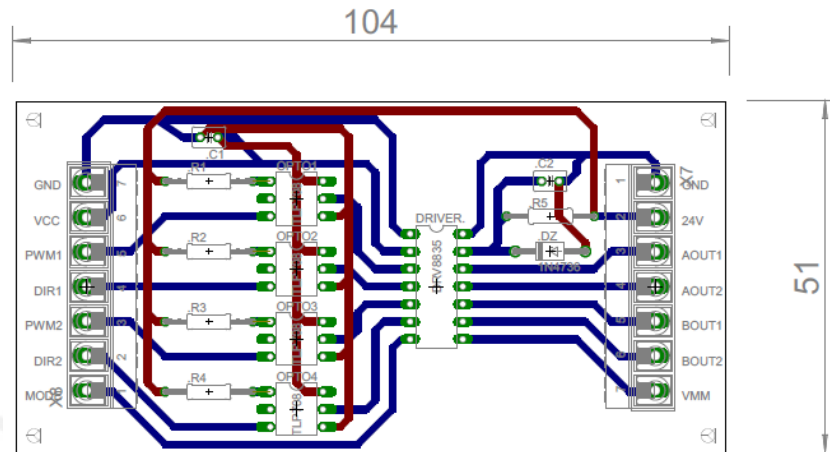


Fig. 3.4.14 Tarjeta del puente H de motores DC

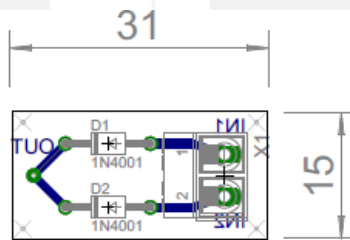


Fig. 3.4.15 Tarjeta del circuito OR

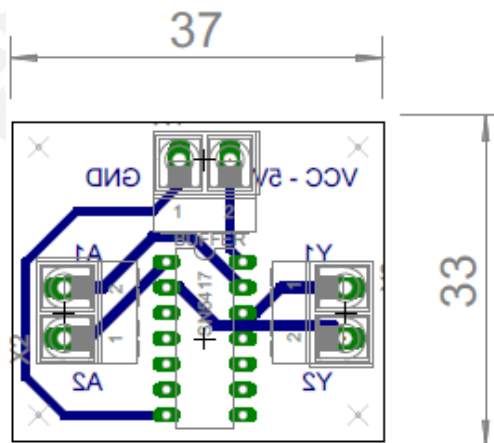


Fig. 3.4.16 Tarjeta Buffer 5VDC a 12VDC

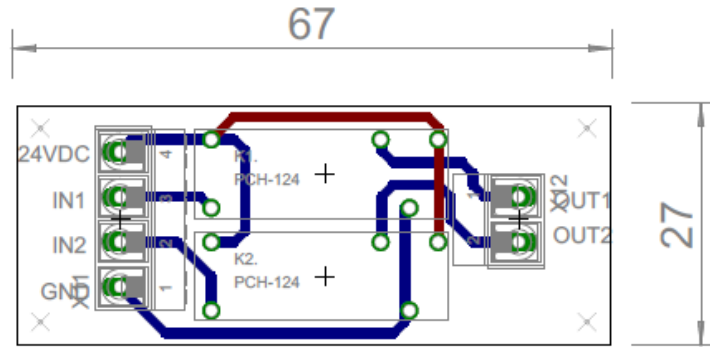


Fig. 3.4.17 Tarjeta Puente H actuador lineal

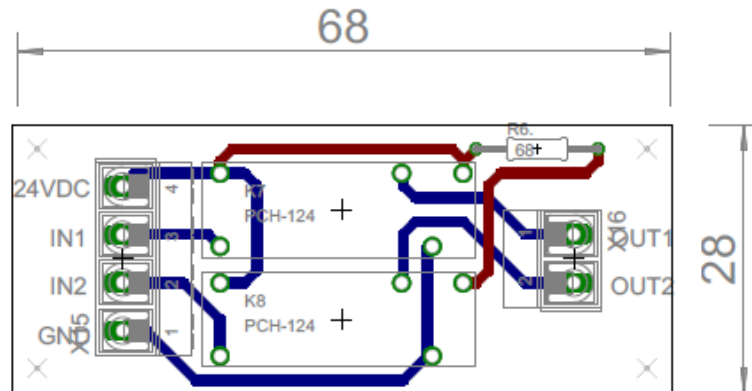


Fig. 3.4.18 Tarjeta Puente H para solenoides

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

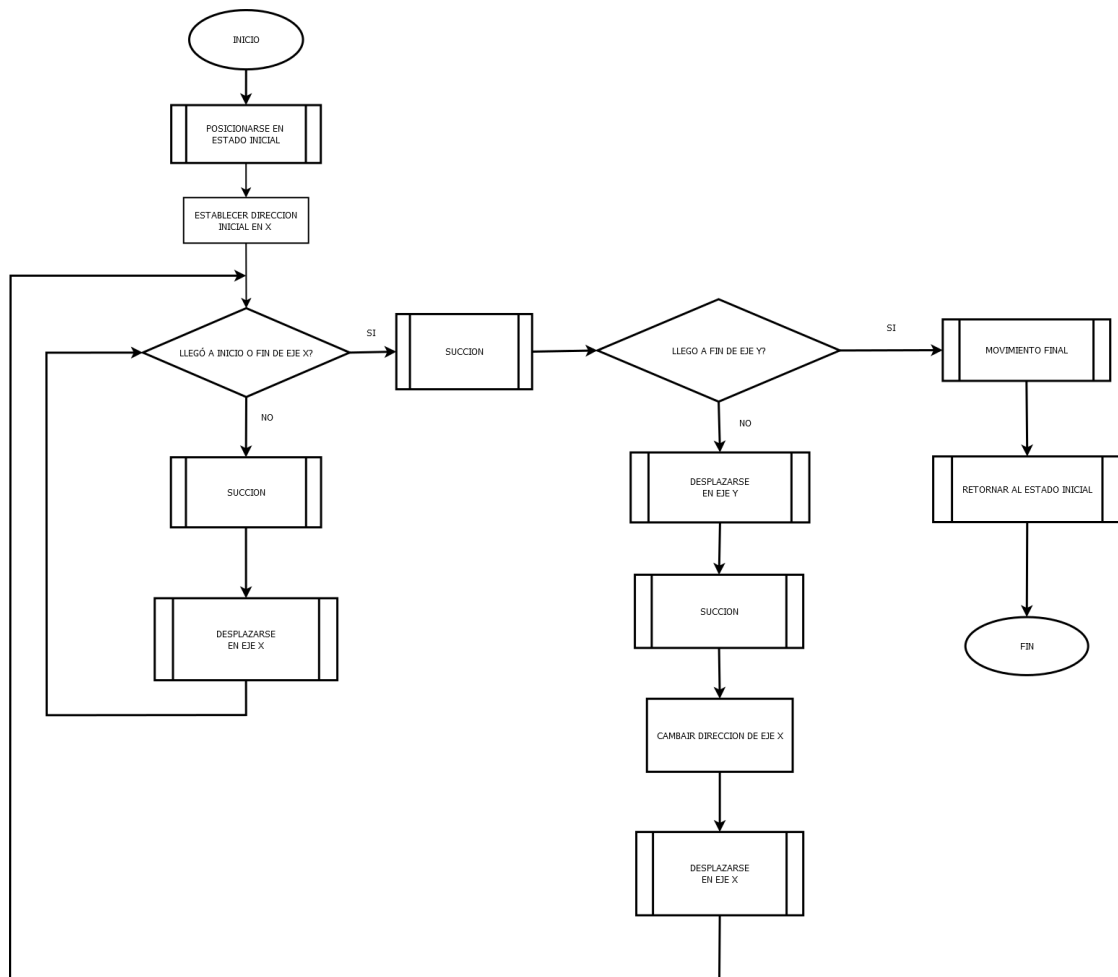


Fig. 3.5.1 Diagrama del funcionamiento general de la máquina

En la figura 3.5.1 se observa que primero la máquina se posiciona en un lugar de origen, con las coordenadas $X=0$, $Y=0$, con los interruptores en el eje Y sin ser activados.

Luego, se lee continuamente si algún interruptor en el eje X está siendo activado, si no está activo comienza con la tarea de llegar al fondo del acuario y succiona. Al terminar se ubica a la siguiente posición en el eje X.

La tarea se realiza continuamente hasta que algún interruptor de limite sea activado, una vez ocurra esto, entonces habrá terminado en todo el eje X con $Y=0$, luego tendrá que pasar a $Y=1$ y comenzar a abarcar nuevamente el eje X, hasta activarse nuevamente algún interruptor en el eje X.

Como se observa la máquina realiza un movimiento en zig-zag en todo el plano XY, para abarcarlo todo, como se mostró inicialmente en la figura 3.1.2.

Una vez terminado, la máquina se ubica nuevamente en el estado inicial y se apaga automáticamente.

A continuación se definen las subrutinas usadas en el flujo principal.

3.5.1 Posicionarse en estado inicial

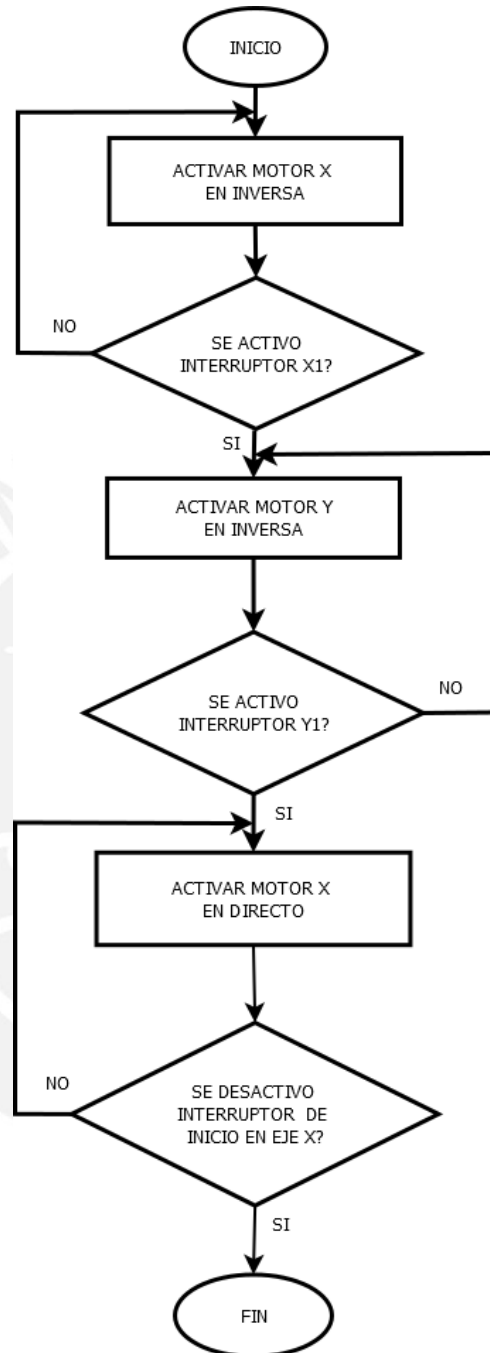


Fig. 3.5.2 Diagrama de flujo de la subrutina POSICIONARSE EN ESTADO INICIAL

Ya que la boca de succión puede estar ubicada en cualquier lugar al instalar la máquina, este debe ubicarse en el origen del plano XY para tenerlo como referencia. Se activan los motores X en inversa hasta activar el interruptor de límite X1 que indica la llegada al origen en el eje X. El mismo procedimiento se realiza en el eje Y. Una vez que la boca de succión está ubicada en el origen de los ejes X e Y, se debe desactivar el interruptor de limite X1, para no interferir en el funcionamiento del siguiente proceso.

3.5.2 Succión

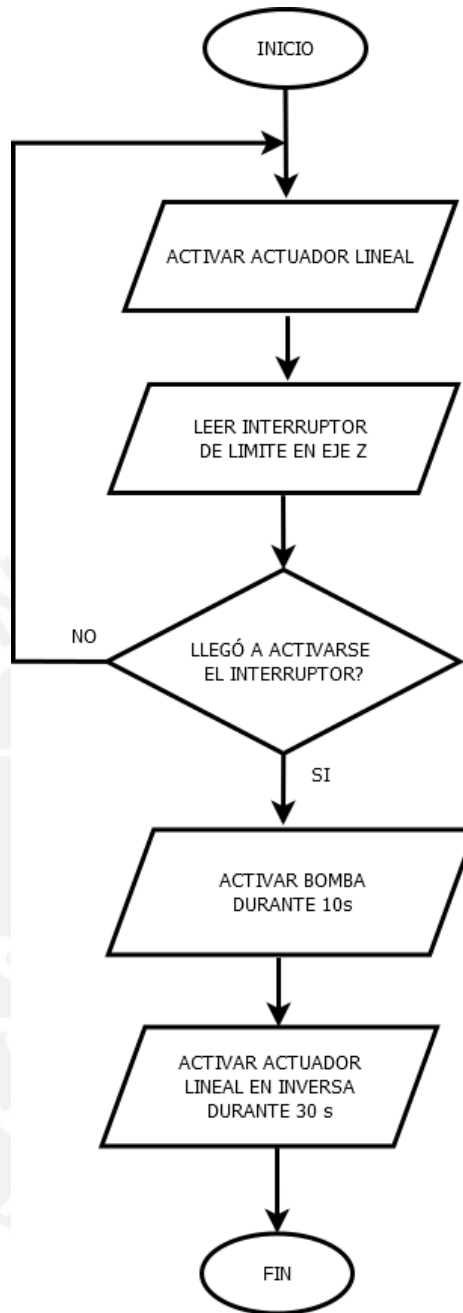


Fig. 3.5.3 Diagrama de flujo de la subrutina SUCCION

En la subrutina de succión, el actuador lineal debe activarse hasta que cualquiera de los interruptores de límite Z1 o Z2 se active, indicando que la boca de succión llegó al fondo del acuario. Luego se activa la bomba durante un tiempo de 10 s. Al finalizar se retrae completamente el actuador lineal. Como el actuador lineal presenta un interruptor de límite interno, el cual no se puede ajustar ni controlar, para la retracción del actuador lineal, este se activa en inversa durante 30 s, tiempo suficiente para el retorno ya que presenta una carrera de 300 m y su velocidad es 10 mm/s.

3.5.3 Desplazarse en eje X

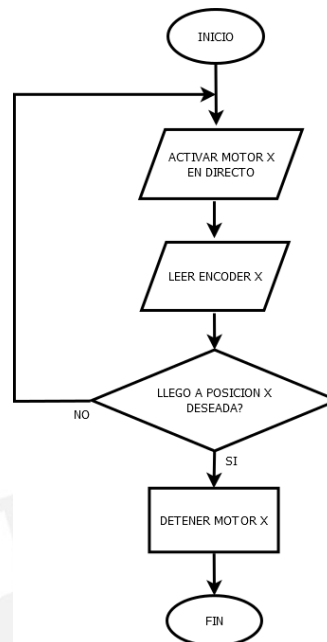


Fig. 3.5.4 Diagrama de flujo de la subrutina DESPLAZARSE EN EJE X

En esta subrutina se activan los motores X hasta alcanzar la posición deseada mediante la lectura constante de los *encoders*. Una vez que se llegó a la posición, se desactivan los motores. La distancia recorrida por los motores es aproximadamente 10 cm.

3.5.4 Desplazarse en eje Y

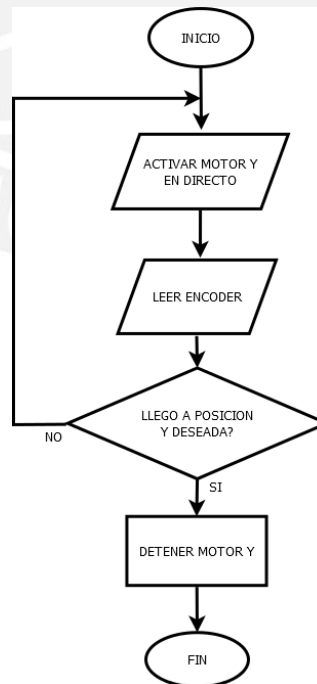


Fig. 3.5.5 Diagrama de flujo de la subrutina DESPLAZARSE EN EJE Y

El procedimiento es similar a la de la subrutina DESPLAZARSE EN EJE X, sólo cambian las coordenadas.

Capítulo 4

Presupuesto

En la tabla 4.1 se observan los precios de los elemento presentes en la máquina

TABLA 4.1 Relación de ítems para la máquina

ITEM	Cantidad	Precio unitario en \$	Precio Total en \$
Actuador Lineal 24VDC	1	169	169
POWER SUPPLY, 5VDC, 12W, DIN- RAIL, LOW PROFILE PLASTIC CASE, CLASS 2	1	80	80
POWER SUPPLY, 24VDC, 24W, DIN- RAIL, SLIM-LINE PLASTIC CASE, SCREW TERMS	1	80	80
8 DC IN / 6 DC OUT MICRO PLC W/AC P/S	1	168	168
Gear Head Motor - 7.2vdc 50:1 175rpm (6mm shaft)	3	54	162
Quadrature Motor Encoder w/Cable	2	59	118
DRV8835 Dual Motor Driver Carrier	1	27	27
SOLENOID LATCH 1/4" CONT 24VDC G0404A	3	65	195
Interruptor de límite MP300	2	25	50
Interruptor de límite MP400	4	20	80
FILTRO MINIPLUS FF06	1	50	50
Conectores de tubería	-	30	30
Tarjetas electrónicas	-	-	10
Barras de Ertalyte	4	100	400
Plancha de acero inoxidable	-	-	500
Mecanizado	--	-	300

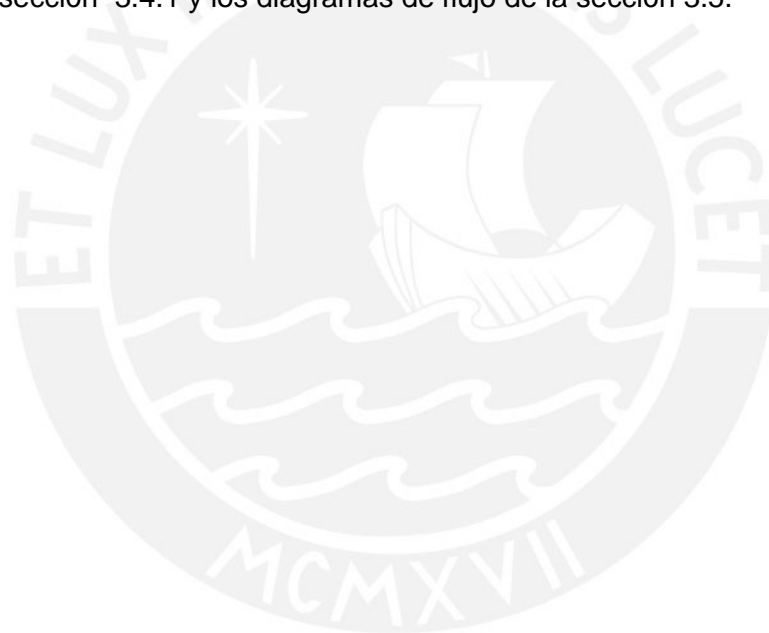
El presupuesto asciende a US\$ 2409, como mínimo sin contar con el diseño de la máquina, con el cual, agregándole un costo de \$500, el presupuesto es US\$2909.

Capítulo 5

Conclusiones

Al finalizar de diseñar una máquina automática de limpieza de fondos y cristales internos de acuarios, se desprenden las siguientes conclusiones:

- Mediante un diseño sencillo se logró cumplir con los objetivos iniciales, tanto con la limpieza del fondo como con la limpieza de los cristales.
- El sistema se controla a través de una estrategia de control ON/OFF aceptable para el posicionamiento de los motores el cual se puede implementar en el PLC seleccionado siguiendo los planos eléctricos de la sección 3.4.1 y los diagramas de flujo de la sección 3.5.



Bibliografía

- [1] Russell C. Hibbeler., Mecánica de Materiales. México: Prentice Hall, 6ta edición, 2011.
- [2] M. Potter, Mecánica de Fluidos. México: International Thompson Editores, 3ra edición, 2002.

