

Automatización de la rendija del espectrógrafo Boller & Chivens del OAN.

F. Murillo, G. Sierra, J.M. Murillo, G. Guisa, B. Martínez, F. Quirós, J.L Ochoa.

Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C., México.

RESUMEN:

Este trabajo documenta el diseño mecánico y electrónico desarrollado para automatizar la rendija del espectrógrafo Boller & Chivens del OAN. El nuevo sistema de control electrónico fue diseñado de manera modular y permite el manejo remoto de la rendija y las dos lámparas del espectrógrafo. El diseño del mecanismo

no modifica la estructura del instrumento y considera un esquema de fácil instalación con posibilidad de ser operado manualmente si así se requiere. Para el manejo amigable del sistema se desarrolló una interfaz gráfica en lenguaje de programación TCL-TK y una versión en Python.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DISEÑO DEL MECANISMO DE RENDIJA	3
3. DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LÁMPARA Y RENDIJA	6
3.1 MÓDULO DIGITAL	6
3.2 MÓDULO DE POTENCIA DE MOTORES	7
3.3 MÓDULO DE RELEVADORES	8
3.4 INTEGRACIÓN	8
3.4.1 SEÑALES EN LOS CONECTORES DEL GABINETE	9
3.5 INSTRUCCIONES DEL CONTROLADOR	10
4. INTERFAZ DE USUARIO	12
4.1 ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN	13
5. RESULTADO DE LAS PRUEBAS DEL MECANISMO EN EL INSTRUMENTO	13
6. REFERENCIAS	13
APÉNDICE A. ETAPA DIGITAL DEL CONTROL DE LÁMPARAS Y RENDIJA	14
A.1. DIAGRAMA A BLOQUES DE LA ETAPA DIGITAL	14
A.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO Y MAPA DE COMPONENTES DE LA ETAPA DIGITAL	15
APÉNDICE B. ETAPA DE POTENCIA PARA LOS MOTORES DEL SISTEMA DE LÁMPARAS	18
APÉNDICE C. ETAPA DE POTENCIA PARA EL MOTOR DE PASOS DEL MECANISMO DE RENDIJA	20

APENDICE D. ETAPA DE RELEVADORES DE ENCENDIDO DE LÁMPARAS -----	22
APENDICE E. LISTADO DEL PROGRAMA DEL CPLD EN VHDL -----	24
APENDICE F. PLANOS DE ENSAMBLE DEL SISTEMA MECÁNICO-----	26
F.1. ENSAMBLE GENERAL -----	26
F.2. ENSAMBLE EN EXPLOSIÓN -----	27
F.3. DIMENSIONES GENERALES DEL SISTEMA MONTADO EN EL ESPECTRÓGRAFO -----	28
APENDICE G. LISTA DE PARTES -----	29
1. MOTOR DE PASOS -----	29
2. INTERRUPTOR DE INICIALIZADO -----	29
3. INTERRUPTOR LÍMITE-----	30
4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN -----	30

1. INTRODUCCIÓN

El Boller & Chivens es un espectrógrafo "clásico" de resolución baja e intermedia. Se usa exclusivamente en el telescopio de 2.1 m de diámetro del OAN-SPM. Desde el año 2008 se le han realizado modificaciones para automatizar algunos de sus mecanismos, en este documento se muestra el trabajo realizado para automatizar el mecanismo de rendija.

La rendija del espectrógrafo Boller & Chivens consiste en un par de navajas deslizables que son impulsadas por un micrómetro manual, de tal manera que al girar el micrómetro se abre o cierra la rendija y la lectura del micrómetro indica la apertura de la rendija.

La operación de la rendija se hace de manera manual y es un trabajo que realiza el operador de telescopio, la frecuencia de los movimientos depende del proyecto de observación y varía de dos a diez veces por noche. Por esta razón se decidió automatizar este mecanismo para que el observador pueda ajustar la rendija desde la computadora de usuario.

Para la automatización de la rendija se diseñó un mecanismo que acopla un motor de pasos al micrómetro que mueve la rendija, el mecanismo se sujeta al instrumento con tornillos ya existentes de tal manera que no es necesario perforar ni hacer modificaciones a su estructura. Se pensó en un mecanismo de fácil instalación y que permitiera la operación manual del micrómetro en caso de falla en el sistema automático.

El posicionamiento del micrómetro de rendija se logró implementando un interruptor de inicialización de precisión y se realiza un conteo de pasos para llegar a la posición deseada. Se optó por este esquema de posicionado ya que es sencillo y robusto.

El espectrógrafo también cuenta con un sistema de iluminación que consiste de dos lámparas, las cuales ya fueron automatizadas anteriormente [1]. En este nuevo trabajo, donde el objetivo es la automatización de la rendija, se hizo un nuevo control electrónico para el sistema de lámparas y se le agregó la etapa de control de movimiento de rendija, de tal manera que este nuevo control sustituirá al control de lámparas actual.

En este trabajo se documenta el diseño del mecanismo de rendija y el del control electrónico de rendija y lámparas. Se presentan los diagramas mecánicos y electrónicos así como los resultados de las pruebas en el telescopio. También se presenta el programa de usuario desarrollado en lenguaje de programación TCL-TK y Python.

2. DISEÑO DEL MECANISMO DE RENDIJA

El diseño mecánico del dispositivo que se implementó para automatizar la apertura de la rendija del espectrógrafo Boller & Chivens, respetó el mecanismo original, con esto, el regresar del modo automático (nuevo) a modo manual (viejo) es muy sencillo. Además, el innovador dispositivo automático se coloca sobre la base del micrómetro usando los mismos tornillos que lo sujetan a la base original y sobre la perilla del micrómetro, por lo que la modificaciones al instrumento fueron nulas, sólo se le instalaron las nuevas monturas y dispositivos.

El mecanismo original funciona girando manualmente un micrómetro que empuja con el husillo las navajas de la rejilla para que éstas se abran. El nuevo mecanismo se divide en 2 partes, una parte fija al instrumento por medio de los mismos tornillos que soportan al micrómetro y la parte giratoria que es la que se monta sobre la perilla del micrómetro.

La parte fija es una estructura de aluminio conformada por aros unidos y postes, que sostiene la tracción del giro, proporcionado por un motor de pasos; también contiene el sistema de inicialización que consta de un "micro-switch", con repetitividad de una micra, que ayuda a la exactitud y resolución del nuevo dispositivo activado por un mecanismo de leva, precargado con resorte.

La parte giratoria del mecanismo consta del tope de la leva mencionada y un sistema de junta universal que absorbe pequeñas desalineaciones angulares entre el micrómetro y el motor. El dispositivo fue diseñado, desarrollado y maquinado en el IA-UNAM sede Ensenada por los integrantes del proyecto. En las siguientes figuras se muestra el innovador mecanismo.

En la *Figura 1* se muestra una foto y un dibujo del mecanismo manual original, donde se muestran los tornillos que sujetan la base original del micrómetro al instrumento, la propia base y el micrómetro. También se muestra las dimensiones generales del dispositivo original.

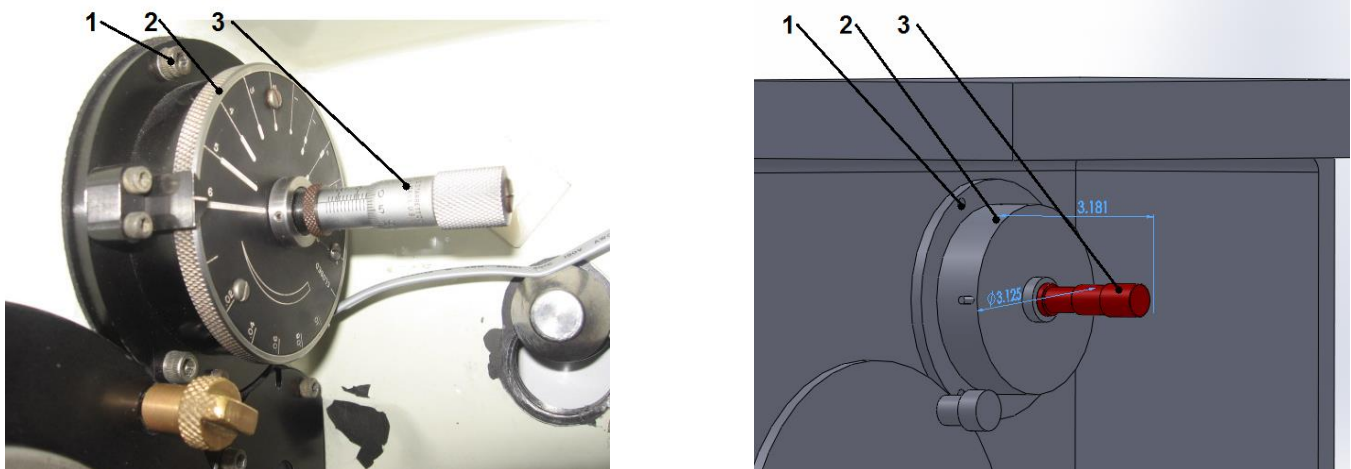


Figura 1: Foto y dibujo, con dimensiones generales, del mecanismo original manual.
1) Tornillos de la base original del micrómetro, 2) Base original del micrómetro, 3) Micrómetro

En la *Figura 2* se muestra la parte giratoria montada sobre la perilla del micrómetro con una foto y un dibujo del diseño mecánico. El disco activa el "micro-switch" de alta precisión oprimiendo la leva; el buje que se observa es una parte de la junta universal que absorbe desalineación angular.

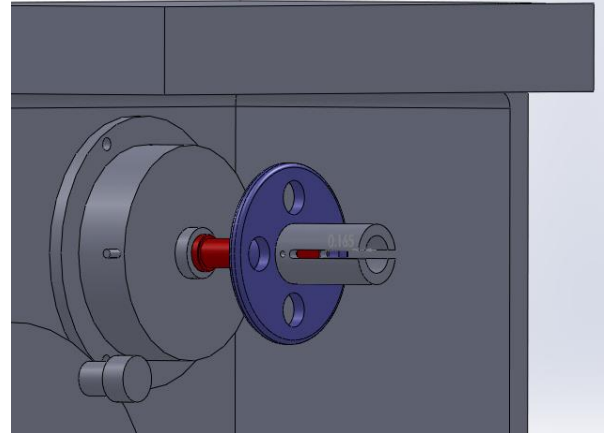


Figura 2: Foto y dibujo de la parte giratoria montada sobre la perilla del micrómetro de la rendija del espectrógrafo Boller & Chivens.

El dispositivo instalado en el espectrógrafo Boller & Chivens se puede apreciar en la *Figura 3*, donde se ve la parte fija del mecanismo, señalando el uso de los tornillos originales para sostener la estructura; se muestra la estructura que sostiene la parte fija -que consta de anillos y postes de aluminio unidos por tornillería estándar-; también se advierte la leva que actúa sobre el micro-switch de alta precisión -esta leva es de bronce grafiado para reducir la fricción-; asimismo, se indica el motor de pasos que es el impulsor del sistema de tracción.

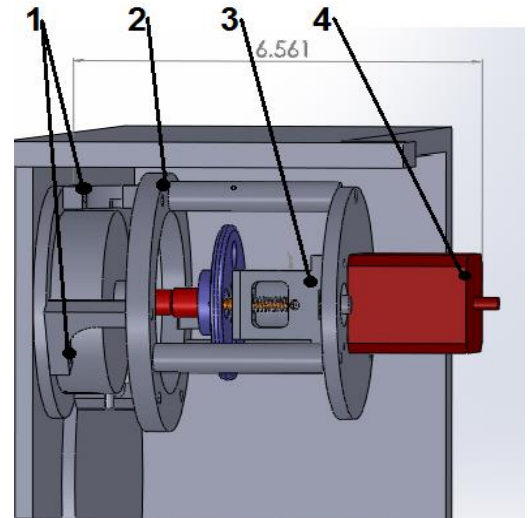
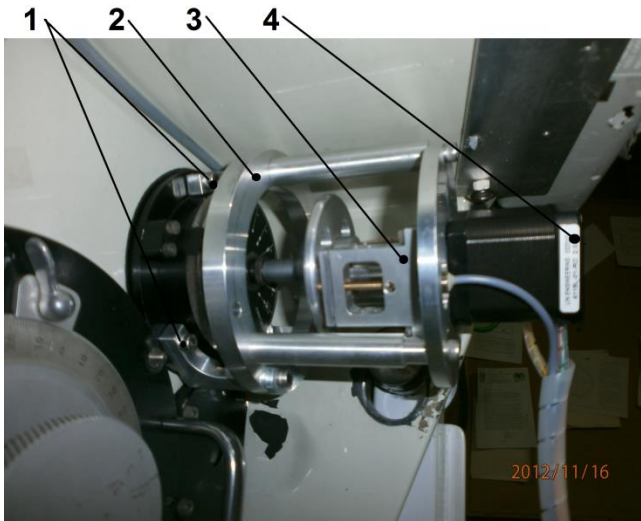


Figura 3: Foto y dibujo, con dimensiones generales, de la parte fija del mecanismo.

- 1) Tornillos de la base original del micrómetro que sostiene al nuevo dispositivo,
- 2) Estructura de aluminio con aros unidos y postes.
- 3) El sistema de inicialización.
- 4) El motor del sistema de tracción.

En el Apéndice F se muestran los planos de ensamble general, ensamble en explosión y de dimensiones generales, para más detalle.

3. DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LÁMPARA Y RENDIJA

El diseño del control electrónico es modular, esto es que consiste de varias etapas electrónicas separadas físicamente en diferentes circuitos impresos (ver *Figura 4*). Esto facilita el mantenimiento y actualización del sistema, además puede crecer para motorizar otros mecanismos del instrumento a futuro.

Las etapas que forman el control son las siguientes: Digital, Potencia de motores, y Relevadores. En las siguientes secciones se describe cada una de ellas.

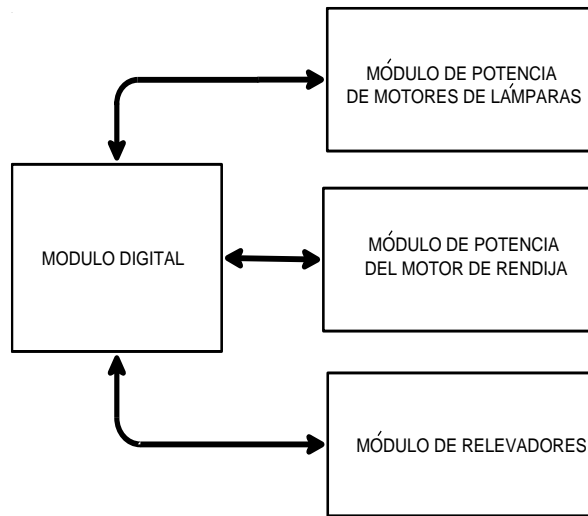


Figura 4: Diagrama a bloques del control electrónico de lámparas y rendija.

3.1 MÓDULO DIGITAL

La etapa digital consiste de un módulo microcontrolador RMC3700 de la compañía Rabbit Semiconductors, montado sobre un circuito impreso junto a un dispositivo lógico programable CPLD modelo CY37064 de la compañía Cypress. El *Diagrama A1* del Apéndice A muestra un diagrama a bloques del circuito lógico que se programó en el CPLD y su interacción con el módulo Rabbit.

Básicamente, en el CPLD se programó un ducto con tres registros de salida LATCH₁-LATCH₃, dos reforzadores de entrada TRISTATE₁ y TRISTATE₂ y un multiplexor para la señal PWM; todos de 8 bits. El módulo Rabbit se conecta al CPLD mediante 8 bits de datos, 5 bits de dirección, una señal de lectura y otra de escritura, y la señal PWM. De esta forma el módulo Rabbit puede escribir en los registros y leer los reforzadores programados en el CPLD.

Esta arquitectura permite controlar hasta 8 motores de corriente directa o 4 motores de pasos a velocidad programable.

El programa del CPLD se hizo en lenguaje VHDL y el listado se muestra en el Apéndice E. Con la implementación de este dispositivo se lograron habilitar 24 líneas de salida y 16 de entrada, ampliando la capacidad de entrada-salida del módulo RCM3700. Además se logró un circuito impreso de tamaño pequeño.

El diagrama esquemático y mapa de componentes del circuito de la etapa digital se muestran en el Apéndice A. En la hoja 2 del diagrama esquemático, se muestran cuatro conectores 5x2 (SV2,SV7,SV8,SV9) que tienen como propósito interconectar la etapa digital con las etapas de potencia.

Las señales disponibles en cada conector son las siguientes: cuatro de lectura de interruptores límite, dos salidas moduladas en ancho de pulso PWM, dos de dirección y dos de freno.

Este conjunto de señales permite controlar dos motores de DC o un motor de pasos. Para esta aplicación se utilizaron tres de los conectores quedando uno libre para futuras aplicaciones de automatización en el instrumento.

El conector SV2 está asignado para controlar el módulo de relevadores, SV7 para el módulo de potencia del motor de rendija, y SV8 para el módulo de potencia de motores de lámparas. En cada módulo existe un conector 5x2 para interconexión con la etapa digital.

3.2 MÓDULO DE POTENCIA DE MOTORES

El diseño de la etapa de potencia está basado en el circuito integrado LMD18200, que es un puente H diseñado para aplicaciones de control de motores; es capaz de manejar cargas de 3 amperes con picos de 6.

El puente H se controla con tres señales digitales: Pulso, Dirección y Freno, con las que es posible controlar la velocidad y dirección de movimiento.

El diagrama esquemático y mapa de componentes de la etapa de potencia se muestran en el Apéndice B. El circuito contiene dos puentes H LMD18200 y un optoacoplador para cuatro señales de entrada destinadas a la interconexión de interruptores límite.

El integrado LMD18200 ofrece una salida cuyo voltaje es proporcional a la corriente consumida por el motor. Esta salida se ha conectado a un comparador LM393 con potenciómetro de ajuste para la corriente límite del motor.

Dos etapas de potencia de motores idénticas fueron construidas, una para manejar el par de motores de corriente directa que mueven el mecanismo de lámparas (ver Apéndice B), y la segunda, para manejar el motor de pasos del mecanismo de rendija (ver Apéndice C).

Se muestran los dos módulos ya que las señales asignadas a los conectores de salida difieren uno del otro.

3.3 MÓDULO DE RELEVADORES

Este módulo contiene dos relevadores para encender las dos lámparas con las que cuenta el espectrógrafo. Los relevadores controlan la alimentación de 110V AC de las fuentes de las lámparas [2].

El módulo también cuenta con cuatro entradas optoacopladas de propósito general que, en este caso, están asignadas a la botonera manual con que cuenta el gabinete de control desde donde es posible operar los mecanismos. El diagrama esquemático y mapa de componentes de esta etapa se muestra en el Apéndice D.

3.4 INTEGRACIÓN

Cada módulo se hizo en circuito impreso de dos caras en el Laboratorio de Electrónica de Ensenada.

Los módulos se integraron en un gabinete de material ABS, se construyeron soportes de material plástico a la medida para sujetar firmemente los módulos a la base del gabinete (ver *Figura 5*).

Para llevar las señales eléctricas al exterior, se utilizaron conectores circulares de tipo militar que fueron instalados en las paredes del gabinete. Se utilizó una fuente de alimentación dual +5V y +12V para alimentar el sistema, misma que fue instalada en el interior del gabinete.

Se instalaron cuatro botones en la puerta del gabinete para tener la opción de operar los mecanismos de forma manual

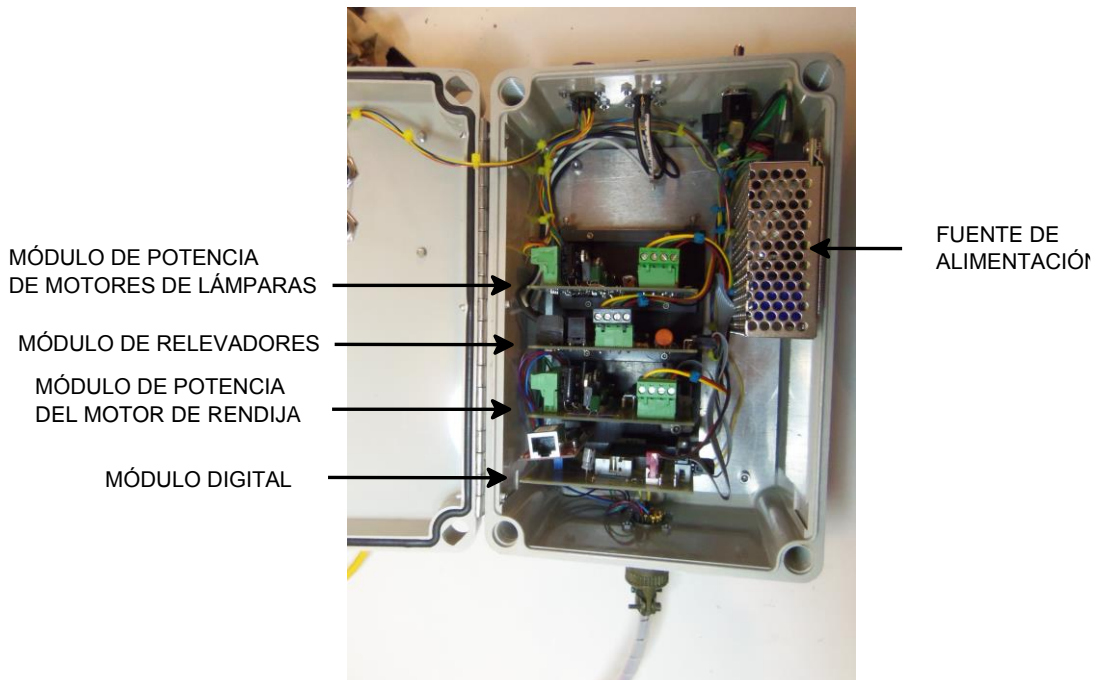


Figura 5: Vista del interior del gabinete que contiene los módulos electrónicos.

3.4.1 SEÑALES EN LOS CONECTORES DEL GABINETE

En las paredes del gabinete se han colocado tres conectores circulares de tipo militar para interconectar las diferentes etapas hacia los mecanismos de rendija y lámparas. La Tabla 1 muestra las señales en el conector de 26 contactos que se conecta al mecanismo de rendija. La Tabla 2 muestra las señales en el conector de 10 contactos que se conecta al mecanismo de lámparas. Por último, la Tabla 3 muestra las señales en el conector de 6 contactos que van a las fuentes de las lámparas.

TABLA 1

Señales en el conector de 26 contactos.

Contacto	Señal
A	Puente1_2, Salida a la bobina 1 del motor de pasos.
B	Puente1_1, Salida a la bobina 1 del motor de pasos.
C	SW0, Entrada de señal del interruptor de inicio.
D	SW1, Entrada de señal del interruptor límite.
E	Puente2_2, Salida a la bobina 2 del motor de pasos.
F	Puente2_1, Salida a la bobina 2 del motor de pasos.
G	Salida de voltaje +12V para el interruptor de inicio.
H	Salida de voltaje +12V para el interruptor límite.

TABLA 2

Señales en el conector de 10 contactos.

Contacto	Señal
A	Puente1_1, Salida al motor de balloneta de lámpara.
B	Puente1_2, Salida al motor de balloneta de lámpara.
C	Puente2_1, Salida al motor de giro de la perilla de selección de lámpara.
D	Puente2_2, Salida al motor de giro de la perilla de selección de lámpara.
E	SW4, Entrada del interruptor de sensado 4.
F	SW3, Entrada del interruptor de sensado 3.
G	SW2, Entrada del interruptor de sensado 2.
H	SW1, Entrada del interruptor de sensado 1.

TABLA 3
Señales en el conector de 6 pines.

Contacto	Señal
A	N.C
B	Al interruptor de la fuente de la lámpara de campo plano.
C	Al interruptor de la fuente de la lámpara de campo plano.
D	N.C
E	Al interruptor de la fuente de la lámpara de CuAg.
F	Al interruptor de la fuente de la lámpara de CuAg.

3.5 INSTRUCCIONES DEL CONTROLADOR

En la Tabla 4 se lista el conjunto de instrucciones que han sido programadas en el microcontrolador RCM3700 para ser recibidas vía red. La dirección de IP del microcontrolador y el puerto por el que recibe las instrucciones son los siguientes:

Dirección IP: 192.168.0.22
Puerto: 2222

El microcontrolador abre un socket TCP servidor por donde recibe instrucciones cuando recibe un carácter “;” procesa la instrucción y, dependiendo del caso, regresa una respuesta al terminar la acción. El socket se mantiene abierto a espera de más instrucciones hasta que el cliente cierre la conexión. Se recomienda que el programa de usuario establezca conexión con el servidor, envíe la instrucción y una vez recibida la respuesta éste cierre la conexión.

El programa de control que corre en el microcontrolador RCM3700 fue hecho en lenguaje C, se utilizó la herramienta de desarrollo Dinamic C 8.30 para programar el módulo. Al programa se le llamó **boller.c** y se le entregó una copia al coordinador de mantenimiento del OAN para colocarlo en la base de datos de programas de sistemas periféricos del OAN. También es posible obtener una copia del programa con el autor de este documento (F. Murillo).

TABLA 4
Instrucciones del controlador.

ajusta_periodo_motor_rendija(T);	Fija el tiempo T en milisegundos que transcurre entre cada paso del motor de rendija. La instrucción regresa el tiempo T cuando es recibida.
inicializa_motor_rendija(t);	Mueve el motor en busca del interruptor de inicio. Si el interruptor es activado regresa un cero "0". Si el interruptor no es activado y el tiempo t en segundos a transcurrido, regresa la cadena "No llego al SW de inicio de rendija".
mueve_motor_rendija_a_posicion(P);	Mueve el motor de rendija a la posición deseada P en pasos. Al finalizar el movimiento la instrucción regresa la posición alcanzada.
mueve_motor_rendija(N,S);	Mueve el motor de rendija el número de pasos N en el sentido S . Si $S=1$ gira hacia la derecha, si $S=0$ gira hacia la izquierda. Al finalizar el movimiento la instrucción regresa la posición alcanzada.
dame_posicion_motor_rendija;	Regresa la posición actual del motor de rendija.
dame_periodo_motor_rendija ;	Regresa el periodo de tiempo entre pasos actual en milisegundos.
apaga_motor_rendija;	Apaga el motor de rendija. La instrucción regresa la siguiente cadena: "motor de rendija apagado".
lee_interruptores;	Regresa en hexadecimal el estado de los registros TRISTAE ₁ Y TRISTATE ₂ , ver Diagrama A ₁ del Apéndice A.
LAMPARA ₁ ;	Selecciona y enciende la lámpara CuAr. Si el proceso se completa con éxito regresa la cadena "Listo", de lo contrario regresa la cadena "No llego un Switch".
LAMPARA ₂ ;	Selecciona y enciende la lámpara de campo plano. Si el proceso se completa con éxito regresa la cadena "Listo", de lo contrario regresa la cadena "No llego un Switch".
FUERA_LAMPARAS;	Apaga las lámparas y saca la bayoneta. Si el proceso se completa con éxito regresa la cadena "Fuera", de lo contrario regresa la cadena "No llego SW ₃ ".
ESTATUS;	Regresa el estado de las lámparas. La instrucción regresa alguna de las siguientes cadenas: "Lampara ₁ " Si la lámpara de CuAr está seleccionada. "Lampara ₂ " Si la lámpara de campo plano está seleccionada. "Fuera" Si la bayoneta está Fuera y las lámparas apagadas. "Error de SW" Si no recibe información de los interruptores de posición.

4. INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario fue hecha en lenguajes TCL-TK y Python. La versión de TCL se agregó al programa de usuario de la cámara del ocular, y la de Python queda para futuras actualizaciones de los programas de usuario.

El programa de la cámara del ocular se corre desde la carpeta de instrumentos en la PC Sonaja, pinchando el ícono etiquetado como “B&Ch Slit Camera”. La ventana se muestra en la *Figura 6*; contiene los controles para manipular las dos lámparas del espectrógrafo y la rendija. Para seleccionar una lámpara sólo hay que oprimir el botón correspondiente y esperar a que se encienda el foquito. Para apagar cualquiera de las dos lámparas sólo hay que presionar el botón “Fuera Lámparas”. Para mover la rendija se debe colocar la posición deseada y presionar el botón “Mover”.

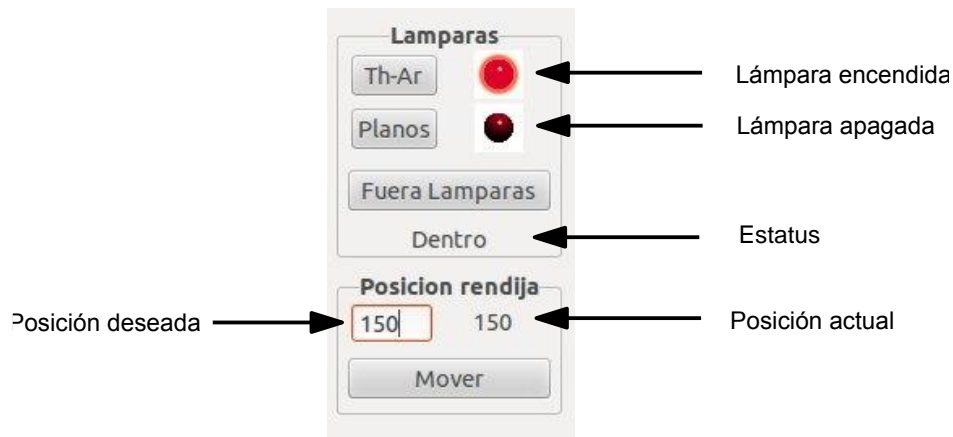


Figura 6: Interfaz de usuario.

4.1 ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN

En el directorio donde se encuentra el programa de interfaz de usuario se halla también un archivo de configuración llamado **boller.cfg**. La *Figura 7* muestra un ejemplo del contenido de este archivo, en él se definen tres parámetros básicos para la operación del mecanismo de rendija. El primer parámetro se refiere al número de pasos por revolución del motor utilizado, que en este caso es de 400. El segundo parámetro se refiere al número de micrómetros por revolución del micrómetro utilizado para mover la rendija. El tercer parámetro se refiere a la distancia en pasos que existe entre la posición de origen del mecanismo y la posición de cero del micrómetro.

Pasos por revolucion: 400
Micrometros por revolucion: 50
Offset del cero: 360

Figura 7: Contenido del archivo boller.cfg

5. RESULTADO DE LAS PRUEBAS DEL MECANISMO EN EL INSTRUMENTO

En noviembre de 2012 se instaló el mecanismo de rendija en el instrumento y se hicieron pruebas de repetibilidad de posicionado a diferentes inclinaciones del telescopio.

En todos los casos el error de posicionado fue menor a 2 micrómetros, lo que demuestra que el mecanismo funciona satisfactoriamente y está libre de flexiones significativas.

6. REFERENCIAS

- [1] Automatización del sistema de iluminación del espectrógrafo Boller & Chivens.
F. Murillo, G. Sierra, B. Martínez, J.M. Murillo, G. Guisa, A. Córdova y E. López.
Publicaciones Técnicas del IA UNAM. RT-2008-01.
- [2] Fuente de alto voltaje para lámparas de comparación en el OAN-SPM.
F. Quirós, J.L. Ochoa, E. López, G. Guisa.
Publicaciones Técnicas del IA UNAM. CI-2006-08.

APÉNDICE A. ETAPA DIGITAL DEL CONTROL DE LÁMPARAS Y RENDIJA

A.1. DIAGRAMA A BLOQUES DE LA ETAPA DIGITAL.

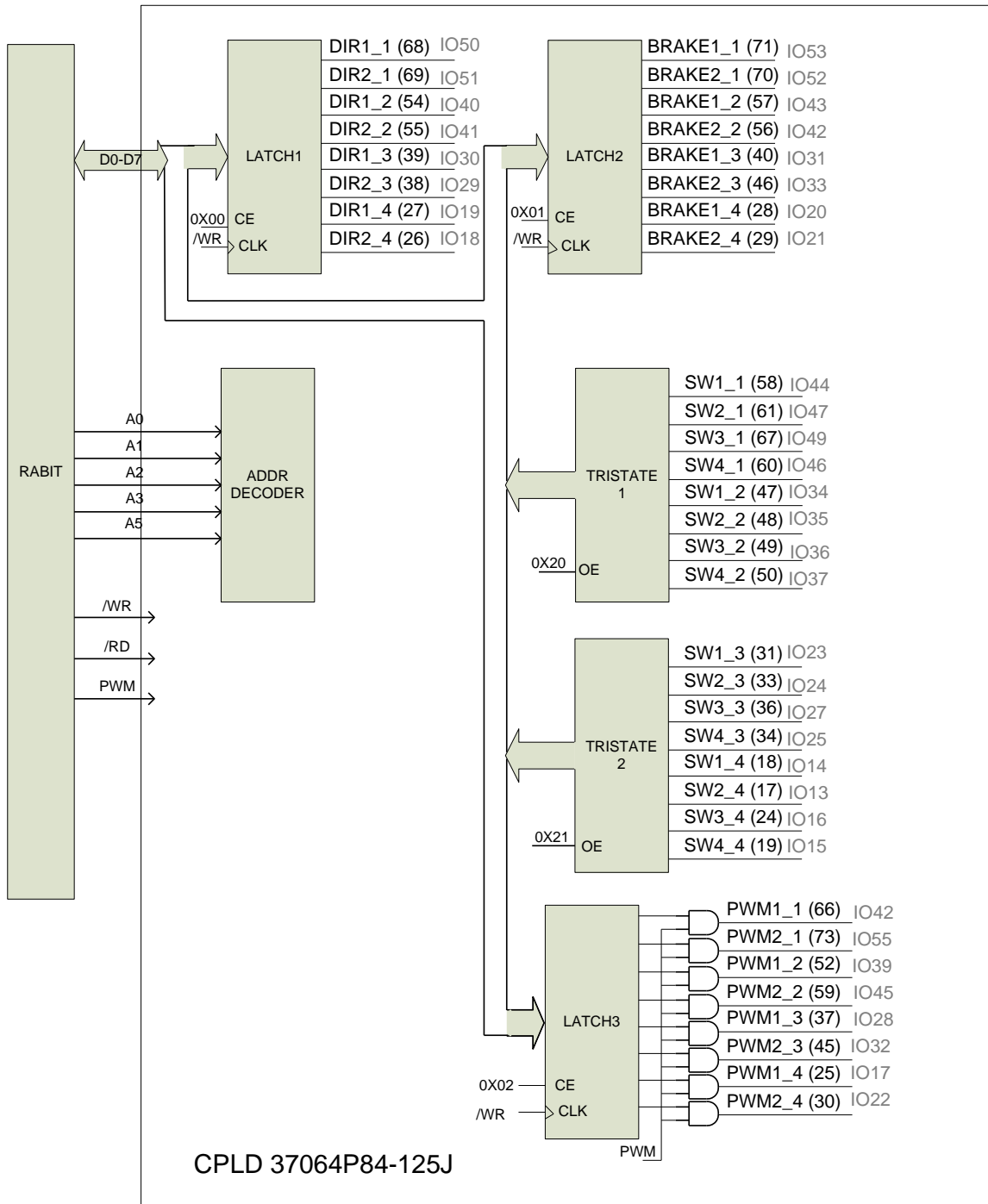


Figura A1: Diagrama a bloques de la etapa digital.

A.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO Y MAPA DE COMPONENTES DE LA ETAPA DIGITAL

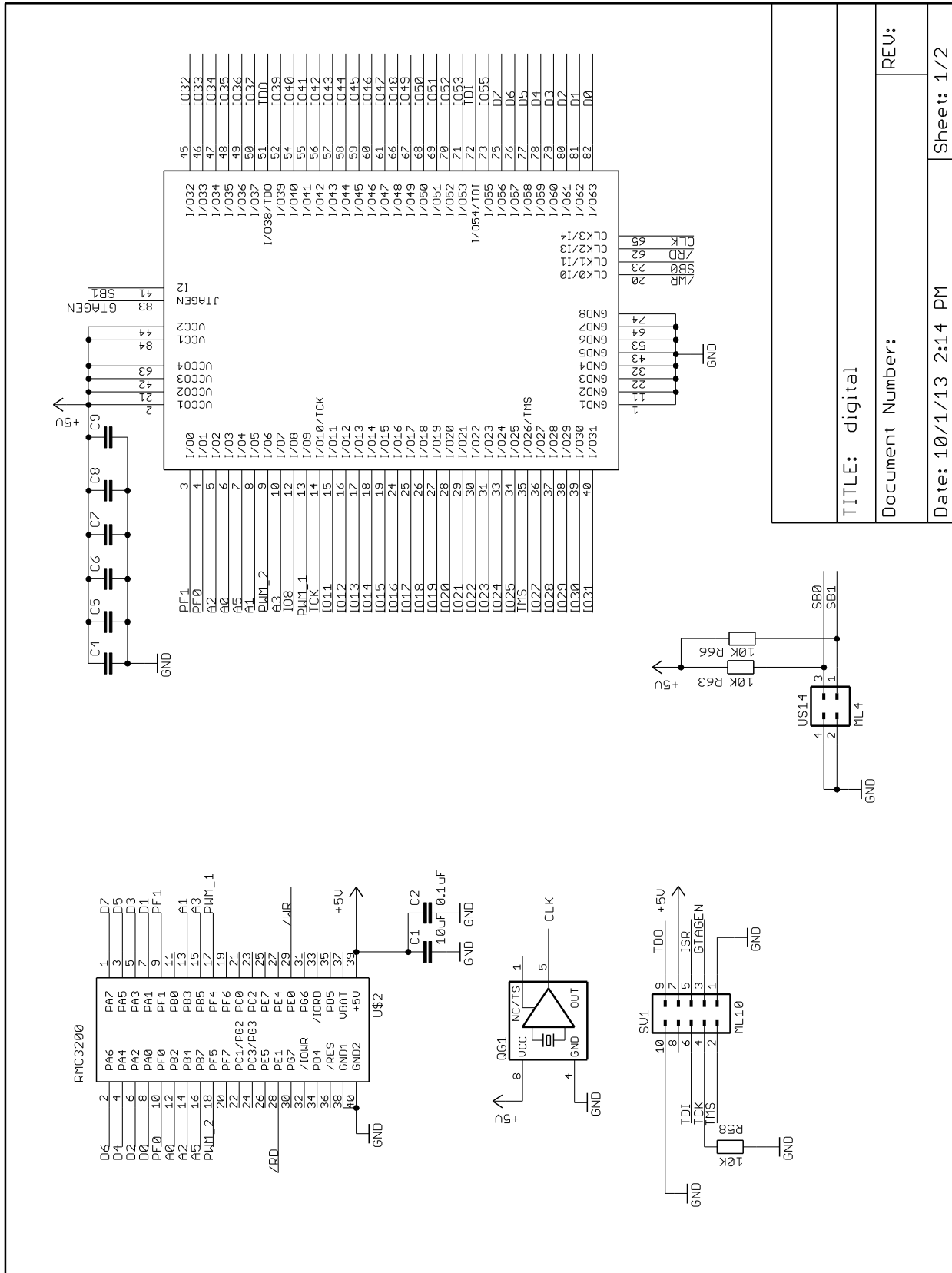
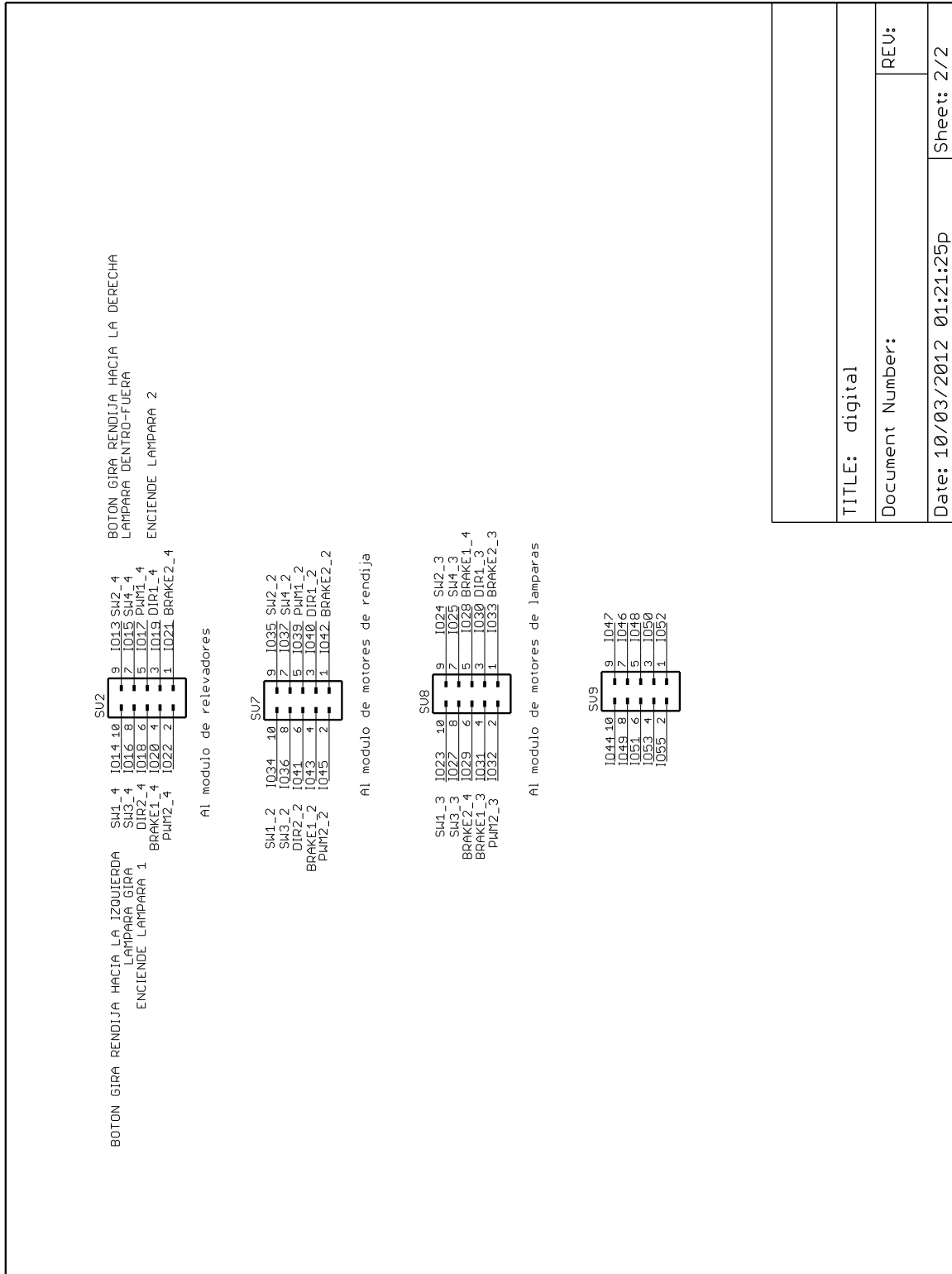


Figura A2: Diagrama esquemático, hoja 1.



TITLE: digital	
Document Number:	
Date: 10/03/2012 01:21:25p	Sheet: 2/2

Figura A3: Diagrama esquemático, hoja 2.

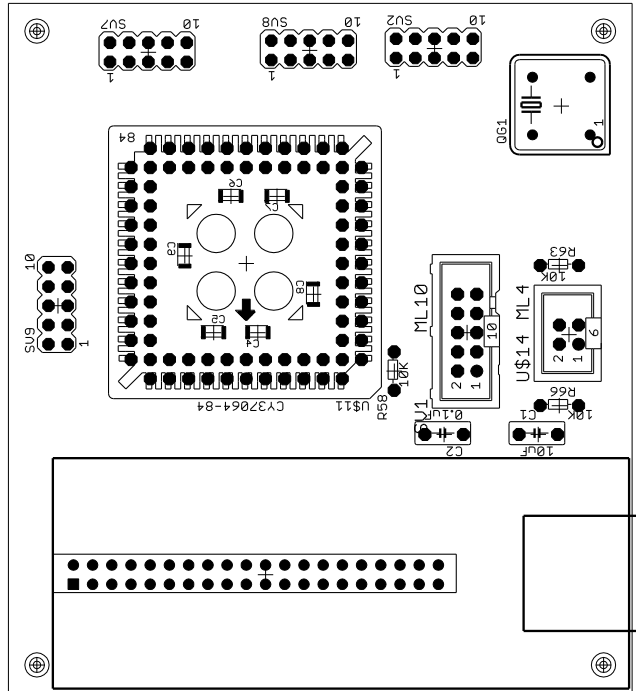


Figura A4: Mapa de componentes.

APENDICE B. ETAPA DE POTENCIA PARA LOS MOTORES DEL SISTEMA DE LÁMPARAS

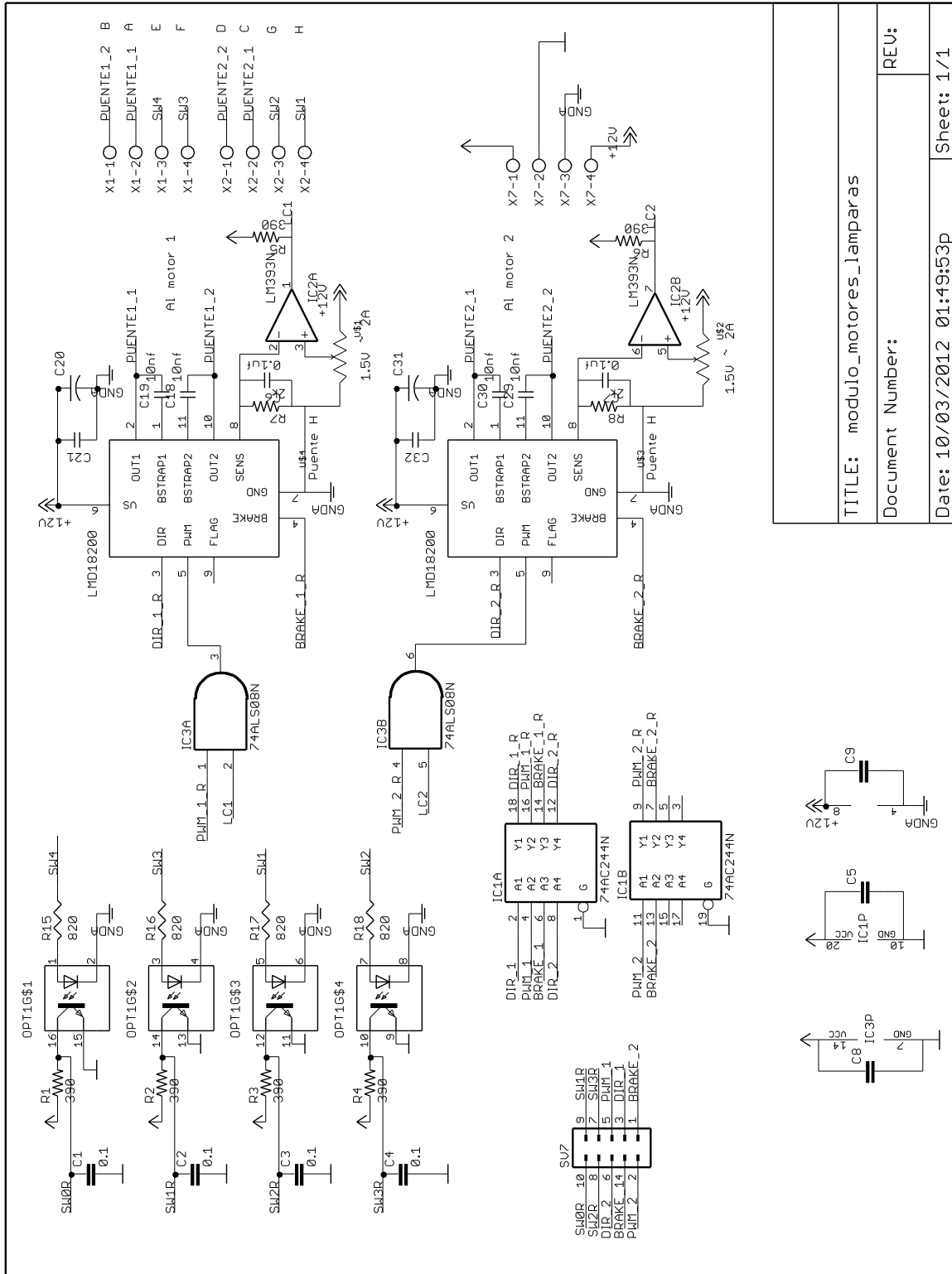


Figura B1: Diagrama esquemático.

TITLE: modulo_motores_lamparas
Document Number:
Date: 10/03/2012 01:49:53p
REV:
Sheet: 1/1

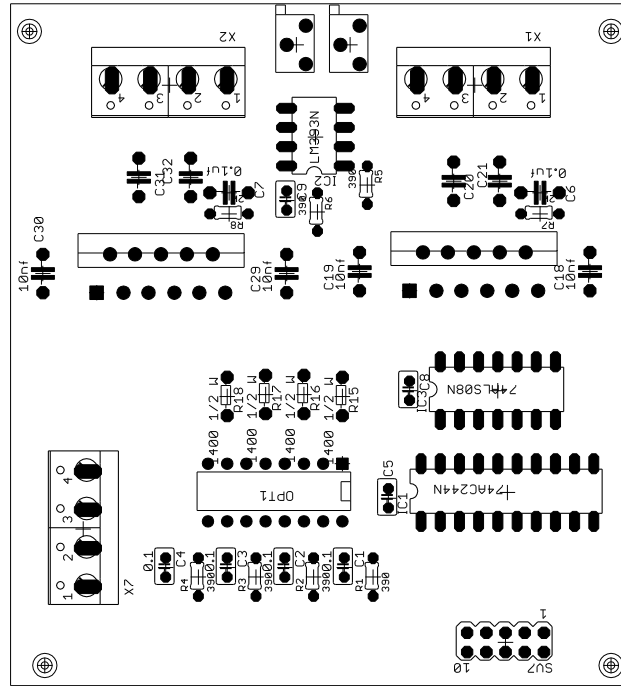


Figura B2: Mapa de componentes.

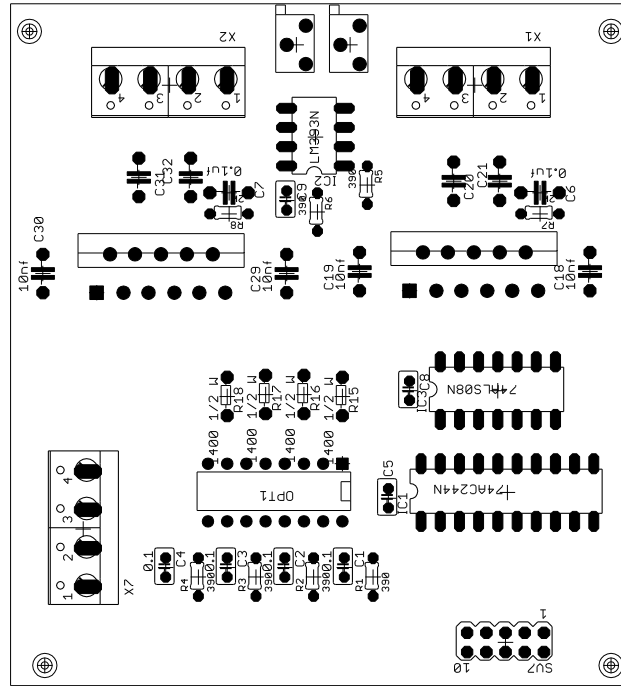


Figura C2: Mapa de componentes.

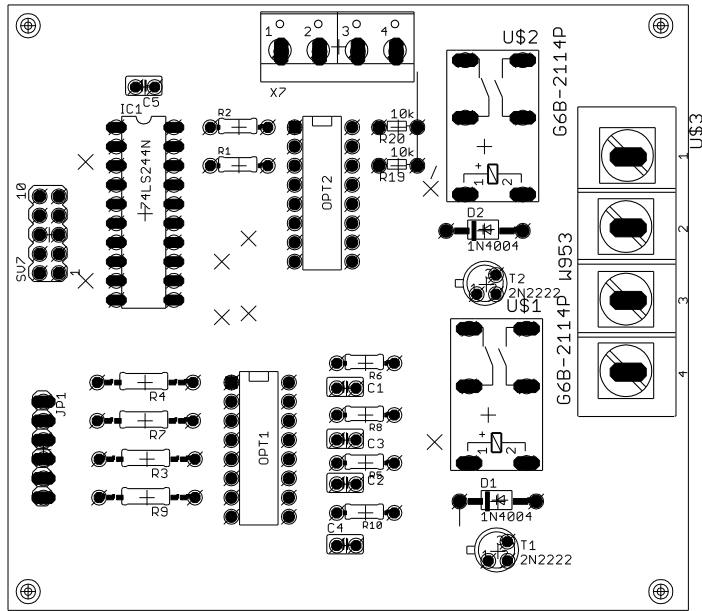


Figura D2: Mapa de componentes.

APENDICE E. LISTADO DEL PROGRAMA DEL CPLD EN VHDL

```
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;
use work.std_arith.all;

-- CY37064P84

entity boller is
  port( DATA : inout STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
        ADDR  : in STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0);
        PWM   : in STD_LOGIC;
        WRCK  : in STD_LOGIC;
        RDCK  : in STD_LOGIC;
        DIR   : out STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
        BRAK  : out STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
        PWMO  : out STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
        SW12  : in STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
        SW34  : in STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0));

  attribute pin_avoid of boller : entity is
    " 14 35 72 51 ";

  attribute pin_numbers of boller : entity is
    " DATA(7):75 " &
    " DATA(6):76 " &
    " DATA(5):77 " &
    " DATA(4):78 " &
    " DATA(3):79 " &
    " DATA(2):80 " &
    " DATA(1):81 " &
    " DATA(0):82 " &
    " ADDR(4):7 " &
    " ADDR(3):10 " &
    " ADDR(2):5 " &
    " ADDR(1):8 " &
    " ADDR(0):6 " &
    " PWM:13" &
    " WRCK:20" &
    " RDCK:62" &
    " DIR(7):26" &
    " DIR(6):27" &
    " DIR(5):38" &
    " DIR(4):39" &
    " DIR(3):55" &
    " DIR(2):54" &
    " DIR(1):69" &
    " DIR(0):68" &
    " BRAK(7):29" &
    " BRAK(6):28" &
    " BRAK(5):46" &
    " BRAK(4):40" &
    " BRAK(3):56" &
    " BRAK(2):57" &
    " BRAK(1):70" &
    " BRAK(0):71" &
    " PWMO(7):30" &
```



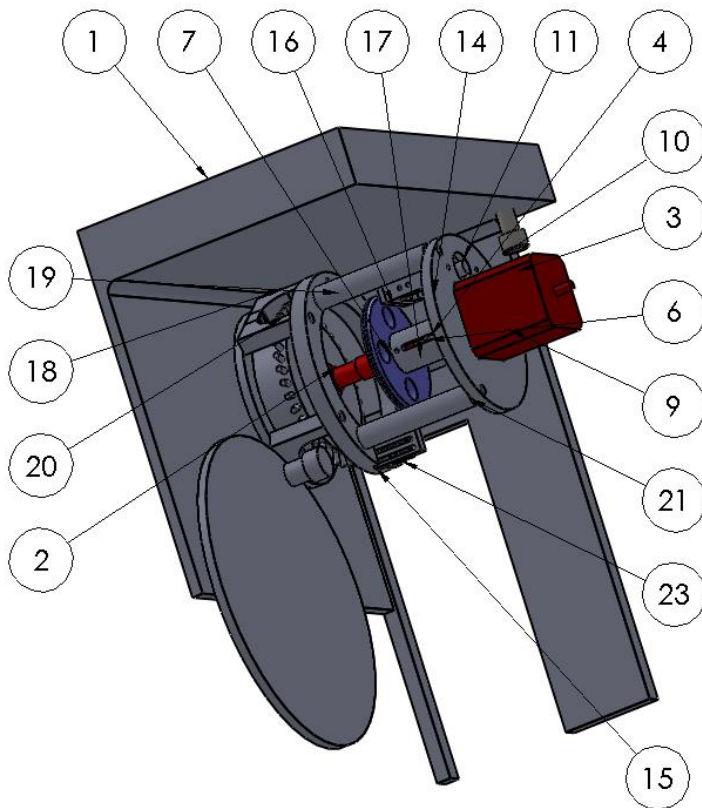
```
" PWMO (6) :25" &
" PWMO (5) :45" &
" PWMO (4) :37" &
" PWMO (3) :59" &
" PWMO (2) :52" &
" PWMO (1) :73" &
" PWMO (0) :66" &
" SW12 (7) :50" &
" SW12 (6) :49" &
" SW12 (5) :48" &
" SW12 (4) :47" &
" SW12 (3) :60" &
" SW12 (2) :67" &
" SW12 (1) :61" &
" SW12 (0) :58" &
" SW34 (7) :19" &
" SW34 (6) :24" &
" SW34 (5) :17" &
" SW34 (4) :18" &
" SW34 (3) :34" &
" SW34 (2) :36" &
" SW34 (1) :33" &
" SW34 (0) :31" ;
end boller;

architecture Behavioral of boller is
    signal S: STD_LOGIC_VECTOR (7 downto 0);
    begin
        Registros:process (WRCK, DATA)
            begin
                if WRCK'event and WRCK = '1' then
                    case ADDR is
                        when "00000" => DIR <= DATA;
                        when "00001" => BRAK <= DATA;
                        when "00010" => S <= DATA;
                        when others => null;
                    end case;
                end if;
            end process Registros;

        process (ADDR, SW12, SW34)
            begin
                case ADDR is
                    when "10000" => DATA <= SW12;
                    when "10001" => DATA <= SW34;
                    when others => DATA <= ( others => 'Z' );
                end case;
            end process;
            PWMO (0) <= PWM and S (0);
            PWMO (1) <= PWM and S (1);
            PWMO (2) <= PWM and S (2);
            PWMO (3) <= PWM and S (3);
            PWMO (4) <= PWM and S (4);
            PWMO (5) <= PWM and S (5);
            PWMO (6) <= PWM and S (6);
            PWMO (7) <= PWM and S (7);
        end Behavioral;
```

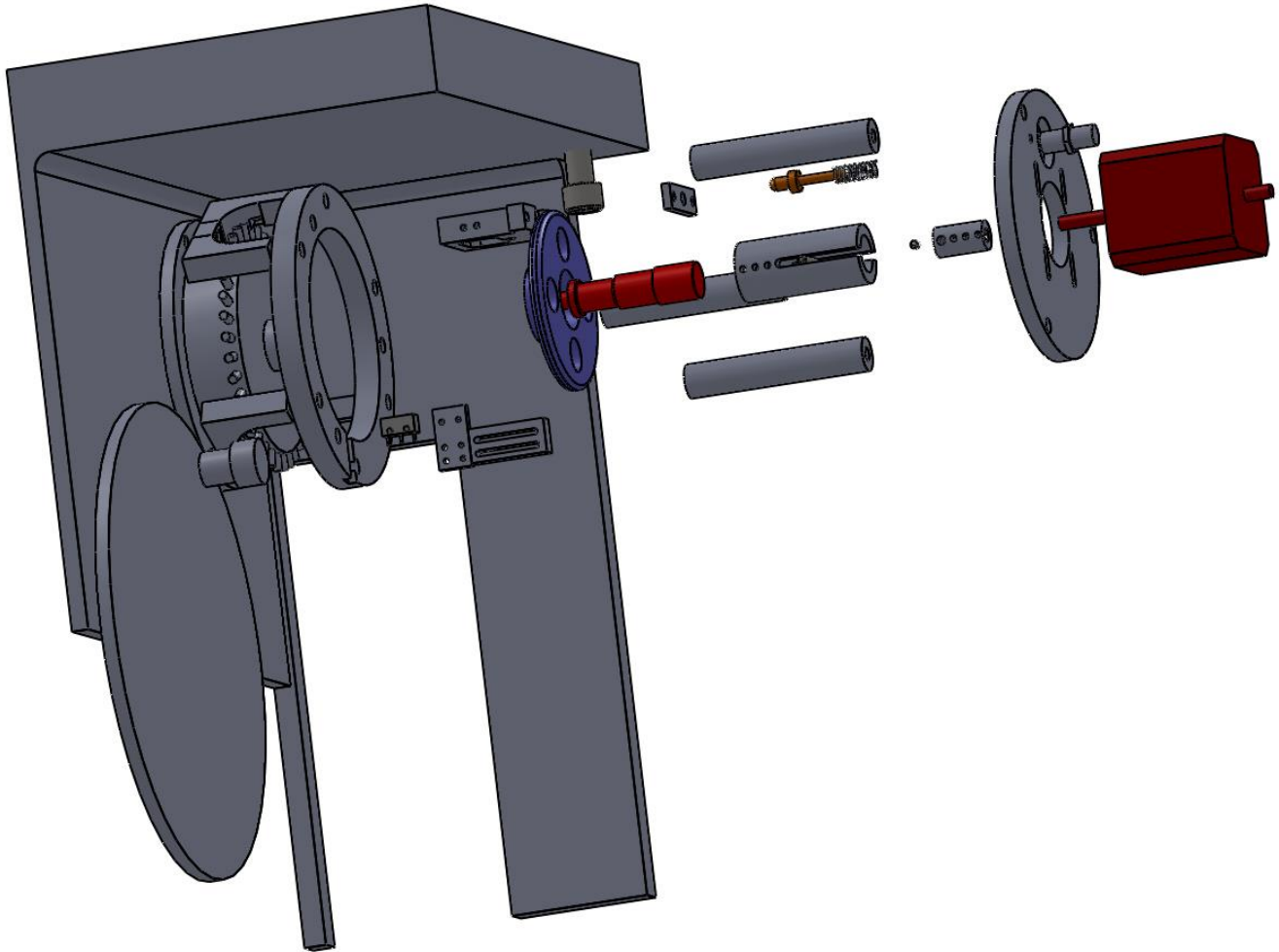
APENDICE F. PLANOS DE ENSAMBLE DEL SISTEMA MECÁNICO

F.1. ENSAMBLE GENERAL

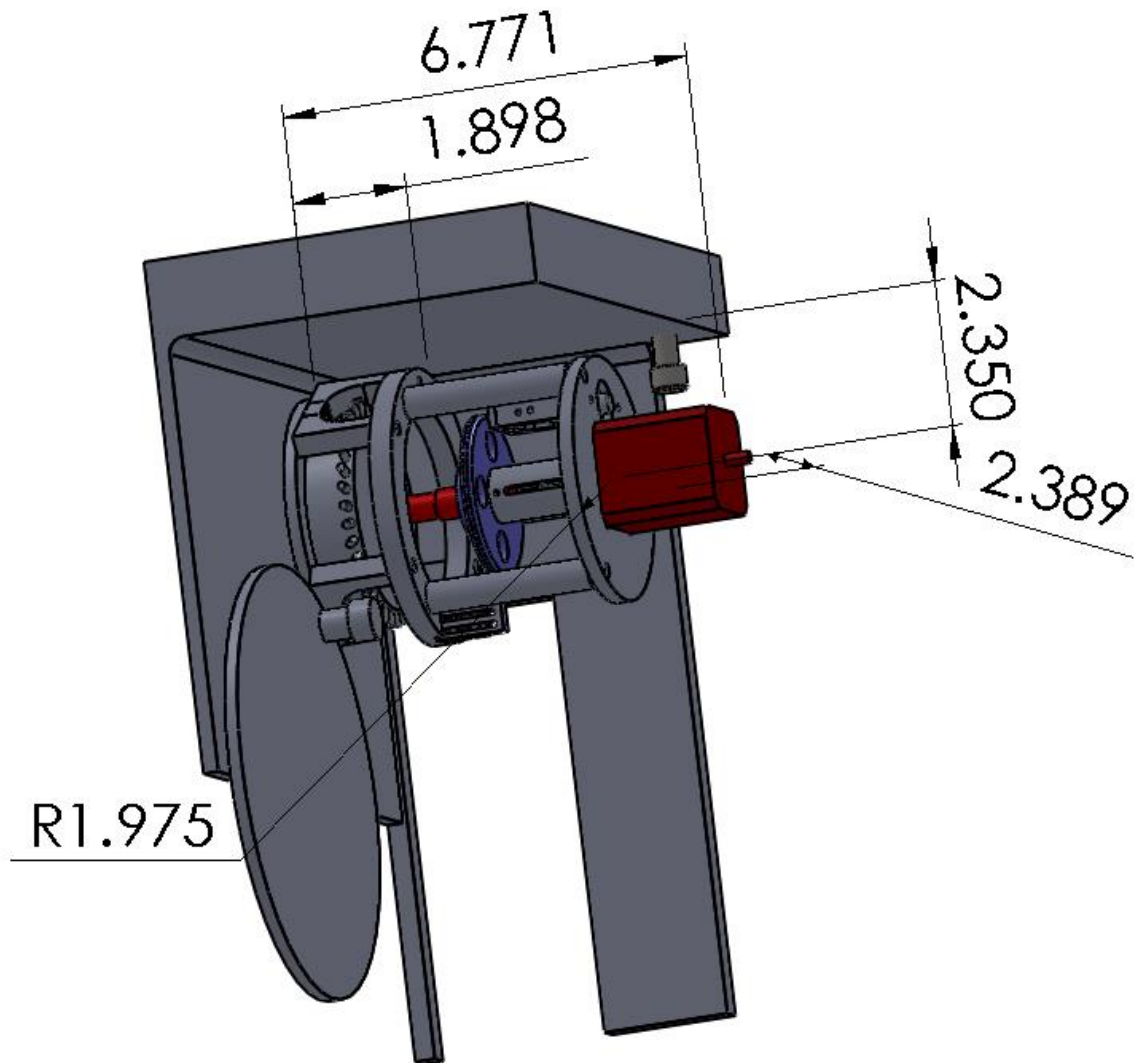


ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	000_RB&CH_B&CH	1
2	micrometro boller	1
3	003_RB&CH_MOTOR4118H07s	1
4	N001_RB&CH_al micrometro	1
5	N002_RB&CH_al motor	1
6	DPM 0.125x0.8125	1
7	90291A103	1
8	92778A040	1
9	N006_RB&CH_Placamotor	1
10	HX-SHCS 0.19-32x1x1-N	2
11	N010_RB&CH_Switch	1
12	N011_RB&CH_Resorte	1
13	N012_RB&CH_EJE	1
14	N013_RB&CH_Montura serorte	1
15	N021_RB&CH_M2Switch	1
16	N014_RB&CH_Tope resorte	1
17	N015_RB&CH_Disco	1
18	N016_RB&CH_Orquilla	3
19	N017_RB&CH_AroMedio	1
20	MirrorN016_RB&CH_Orquilla	1
21	N019_RB&CH_postes	3
22	N018_RB&CH_Omron switch D2F	1
23	N020_RB&CH_MSwitch	1

F.2. ENSAMBLE EN EXPLOSIÓN



F.3. DIMENSIONES GENERALES DEL SISTEMA MONTADO EN EL ESPECTRÓGRAFO



APENDICE G. LISTA DE PARTES

1. MOTOR DE PASOS

Número de parte de Newark: 16M4196
Número de parte del fabricante: 4118L-01RO
Tipo de motor: Bipolar.
Pasos por revolución: 400.
Resistencia: 1.4 ohm.
Corriente: 2A.
Torque: 86.3 in-oz.

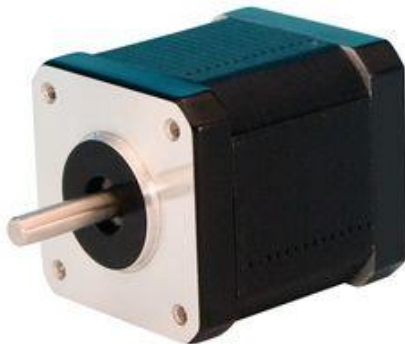


Figura G1: Imagen del motor de pasos.

2. INTERRUPTOR DE INICIALIZADO

Fabricante: Veeder-Root.
Número de parte: 748310-005.
Especificaciones:
Repetibilidad: 0.001mm.
Histeresis: 0.002mm.
Temperatura de operación: -20 a +75°C.

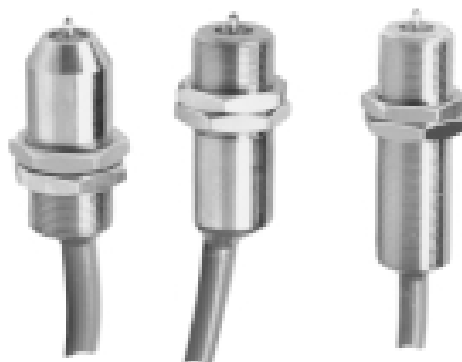


Figura G2: Imagen del nterruptor de iniciado, primero de izquierda a derecha.

3. INTERRUPTOR LÍMITE

Fabricante: Omron

Número de parte: D2F-01FL-D3



Figura G3: Imagen del interruptor límite.

4. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Número de parte de Mouser: 709-RD50A

Número de parte del fabricante: RD-50^a

Voltajes de salida: 5V/6A, 12V/2A.



Figura G4: Imagen de la fuente de alimentación.