

Repotenciación del Sistema de Posicionamiento Local para el Domo del Complejo Astronómico
de la Universidad Industrial de Santander

Dinner Augusto Córdoba Díaz

Jhon Erick Pérez Ferreira

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

Ricardo Alzate Castaño, Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

El presente trabajo de grado esta dedicado para aquellas personas que apoyaron el desarrollo y ejecución del mismo, especialmente a la presencia de Dios, de mi familia, amigos y conocidos.(Dinner Augusto Córdoba Diaz)

Este proyecto de grado esta dedicado a profesores , compañeros y especialmente a mi familia que me apoyo siempre para realizacion del mismo.(Jhon Erick Pérez Ferreira)

Agradecimientos

Agradezco especialmente a mi familia por el apoyo incondicional a nivel económico y moral, durante el transcurso de mi carrera. También agradezco a mis amigos y compañeros, por las vivencias en los años de universidad para lograr este triunfo. (Dinner Augusto Córdoba Díaz)

Este agradecimiento va a todas las personas que me apoyaron en el transcurso de mi vida universitaria indirecta o directamente, a mi familia por el apoyo económico y moral continuamente en especial a mi abuela Beatriz Rojas que fue incondicional y clave pero que esto sea posible. A mis padres solo les puedo decir gracias por tanto. (Jhon Erick Pérez Ferreira)

Tabla de Contenido

Introducción	11
1. Objetivos	15
2. Valoración inicial del sistema	16
2.1. Estado inicial del domo	16
2.1.1. Ajuste apertura de compuerta superior	17
2.1.2. Análisis del cableado	18
2.1.3. Análisis de la fuente de alimentación	21
2.1.4. Análisis de la tarjeta de control	22
3. Rediseño de tarjeta de control	29
3.1. Análisis de requerimientos y selección de componentes	29
3.1.1. Etapa de potencia	30
3.1.2. Etapa de alimentación	31
3.1.3. Etapa de cálculo digital	32
3.2. Verificación de funcionalidad del diseño	36
4. Conclusiones	38
4.1. Recomendaciones	40

4.2. Trabajo futuro

40

Referencias Bibliográficas

40

Lista de Figuras

Figura 1.	Telescopio del Complejo Astronómico UIS	12
Figura 2.	Domo del Complejo Astronómico UIS	13
Figura 3.	Diagrama de bloques del sistema PRODOME PD-15	17
Figura 4.	Deterioro en cables de conexión	18
Figura 5.	Ilustración de movimiento para compuerta superior	19
Figura 6.	Plano eléctrico de conexión de motores	20
Figura 7.	Tarjeta de control del PRODOME PD-15	23
Figura 8.	Diagrama GRAFCET de operación del sistema PRODOME PD-15	27
Figura 9.	Subrutinas de diagrama GRAFCET	28
Figura 10.	Tarjeta seleccionada como <i>driver</i> de motor	31
Figura 11.	Pantalla seleccionada como interfaz de visualización	33
Figura 12.	Diagrama de conexiones para sistema diseñado	35
Figura 13.	Implementación de sistema en <i>PROTEUS</i> para verificación por simulación	37

Lista de Tablas

Tabla 1.	Convenciones diagrama GRAFCET	26
Tabla 2.	Características técnicas driver <i>MDD10A</i>	30
Tabla 3.	Conexiones realizadas con el PIC18F4525	34

Glosario

Control de movimiento normalmente se entiende como el uso de sistemas servo y sistemas a pasos como un musculo para mover alguna carga. Estos sistemas de control de movimiento son capaces de mantener una velocidad extremadamente precisa, posición y control de toque.

Grafcet es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar, teniendo en cuenta las acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

Hardware es el conjunto de los componentes que conforman la parte material (física) de una computadora, a diferencia del software que refiere a los componentes lógicos (intangibles).

Observatorio astronómico son centros de investigación y estudio del cielo o, dicho de otro modo, del Universo y de los astros que en él se encuentran.

Sistema conjunto de elementos que interactúan de manera organizada para cumplir con un fin u objetivo común.

Software es el equipamiento lógico e intangible de un ordenador.

Tarjeta electrónica es una tarjeta que procesa las órdenes que le damos por medio del control remoto.

Resumen

TÍTULO: REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO LOCAL PARA EL DOMO DEL COMPLEJO ASTRONÓMICO DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ¹

AUTORES: DINNER AUGUSTO CÓRDOBA DÍAZ; JHON ERICK PÉREZ FERREIRA ²

PALABRAS CLAVE: COMPLEJO ASTRONÓMICO, CONTROL DE MOVIMIENTO, DIAGRAMA GRAFCET, TARJETA ELECTRÓNICA DE POTENCIA.

DESCRIPCIÓN:

El presente trabajo de grado aborda la adecuación funcional y operativa del domo del Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander. Inicialmente, se valora el estado del servomecanismo para definir las acciones de mejora a implementar a partir de la identificación de inconvenientes técnicos de funcionamiento. A partir de ello, se detectó una deficiencia en la alimentación de potencia eléctrica de los motores del sistema. Asimismo, se pudo verificar el apropiado estado de la tarjeta de potencia y su interacción con el software de control de movimiento. Sin embargo, en aras de preservar la funcionalidad del domo aún ante la obsolescencia de sus partes, se plantea el diseño de una nueva tarjeta de potencia e interfaz electrónica de movimiento mediante el análisis del esquema de operación (diagrama GRAFCET) del sistema visto como autómeta. Posteriormente, este diseño es valorado a partir de su implementación en un microcontrolador PIC18F4525, permitiendo aprovechar la versatilidad de este dispositivo para interactuar con el entorno a partir de herramientas de programación flexibles y eficaces para configuración de periféricos, rutinas e instrucciones asociadas en lenguaje de alto nivel. Trabajo futuro incluye la implementación física de la tarjeta de potencia diseñada y el análisis de la capacidad de mando de la misma sobre la operación real del domo.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ricardo Alzate Castaño, Doctorado en Ingeniería Informática y Automática.

Abstract

TITLE: REFURBISHMENT OF THE POSITIONING SYSTEM FOR THE ASTRONOMY COMPLEX OF THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER³

AUTHOR: DINNER AUGUSTO CÓRDOBA DÍAZ; JHON ERICK PÉREZ FERREIRA **

Keywords: ASTRONOMY COMPLEX, MOTION CONTROL, GRAFCET DIAGRAM, ELECTRONIC POWER INTERFACE.

DESCRIPTION:

In this work, the functional and operational capabilities for the dome of the Astronomy Complex of the Universidad Industrial de Santander, are restored. First of all, an evaluation of the initial state of the servomechanism is performed in order to identify technical issues to be fixed and repaired. By doing so, a lack of electrical power provided to the motors of the mechanism was detected, implying to adjust the main power transformer to recover a uniform displacement of the dome but mainly on the movement of its gate. Also, it was verified the appropriate operation of the electronic interface and its interaction with the software for motion control. However, taking into account the eventual obsolescence of the electronic parts, the design for a new power interface based on the PIC18F4525 microcontroller and the operation graph of the system (usually termed as GRAFCET) was proposed, involving configuration of peripherals, ports and the execution of routines, cycles and loops regarding the different stages of an automatic servo-positioning system created for astronomic purposes. Verification of designs was performed by simulations in PROTEUS. Ongoing work includes the physical realization of the electronic interface to verify its capacity to support in practice the operation and functionality of the dome.

³ Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. Director: Ricardo Alzate Castaño, Doctorado en Ingeniería Informática y Automática.

Introducción

El Grupo de Investigación en Relatividad y Gravitación(GIRG) de la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander (UIS), mantiene activas varias líneas de investigación en Cosmología, Relatividad General, Astrofísica Relativista, Astropartículas, Astrofísica y Ciencias de la Información. Recientemente, el grupo ha venido incursionando en las Geociencias, en particular en Sismología Forero Guitierrez and Salamanca Coy (2018); Arenas Florez and Perez Archila (2017). Una parte importante del esfuerzo del grupo se dedica a la extensión y promoción de la cultura científica en la sociedad. Las actividades de divulgación de la Astronomía y Ciencias Aeroespaciales del Grupo Halley tienen una estrecha vinculación con el GIRG. Adicionalmente, el grupo desarrolla una intensa actividad de promoción social de la ciencia mediante: Proyectos de Ciencia Ciudadana como la Red Ambiental Ciudadana de Monitoreo Ambiental (RACIMO) y la serie de micros radiales de Astronomía al Aire que se transmiten diariamente a través de la emisora UIS AM - 670kHz y se complementan con una campaña de microblogging a través de la cuenta @AstroAlAire Universidad Industrial de Santander (2018).

Como parte de ello, en el año 2011 la Facultad de Ciencias de la UIS realizó una inversión de aproximadamente 120 millones de pesos colombianos para construir, dotar y poner en funcionamiento el Planetario Halley. El Planetario es un espacio de educación y divulgación de la astronomía para acercar a la comunidad de todo el nororiente colombiano a las ciencias. El Planetario consta de una cúpula que simula la bóveda celeste, sobre la cual un proyector de estrellas

permite visibilizar las galaxias, estrellas, constelaciones, sistemas planetarios como el solar, etc.

El Planetario Halley se convierte en el octavo de su tipo en Colombia, sumándose a los siguientes:

1) Cali: Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suárez (1963); 2) Cartagena de Indias: Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla (1968); 3) Bogotá: Planetario de Bogotá (1969); 4) Medellín: Planetario Jesús Emilio Ramírez González (1984); 5) Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira (1988); 6) Bogotá: Universidad Sergio Arboleda (2001) y 7) Bogotá: Maloka (2006) Ministerio (2011).

En complemento a lo anterior, el grupo Halley cuenta con un telescopio Plane Wave de 17” con diámetro de 43.18 cm (ver Fig. 1), que le permite realizar observaciones del cosmos con fines lúdicos y de investigación científica.



Figura 1. Telescopio del Complejo Astronómico UIS

El telescopio es posicionado manualmente en coordinación con un domo de referencia

PRODOME PD-15 (es decir, de 15 pies de diámetro - aproximadamente 4.6 m). Dicho domo (ver Fig. 2) fue instalado en la cúpula del edificio de Ciencias Humanas de la UIS en el año 2014.



Figura 2. Domo del Complejo Astronómico UIS

El planetario y el observatorio del grupo Halley constituyen el *Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander*.

A pesar de contarse con una infraestructura importante para el desarrollo de las actividades mencionadas, es necesario repotenciar los elementos que constituyen la interacción electromecánica del operador con el domo del Complejo Astronómico UIS.

En particular, debido a la falta de información técnica de las interfaces electrónicas que permiten manipular el movimiento manual del domo, se hace necesario plantear una reestructuración del sistema que permita incorporar herramientas tecnológicas actuales, de cara a una automatización de las observaciones cosmológicas.

Por tanto, es posible formular al respecto inquietudes como las siguientes: ¿Qué tan viable es rediseñar la interfaz de potencia del domo del Complejo Astronómico UIS de manera tal que sea posible una operación computarizada de su posicionamiento? ¿Puede a partir de lo anterior construirse una interfaz hardware-software que facilite el posicionamiento automático de las observaciones cosmológicas del Complejo Astronómico UIS?

El presente trabajo de grado busca realizar aportes que permitan abordar y resolver estos interrogantes, fomentando la interdisciplinariedad y mostrando alternativas de aplicación para soluciones tecnológicas a partir del diseño electrónico de etapas de potencia para manipular la operación de sistemas electromecánicos.

Algunos trabajos reportados en la literatura describen sistemas para manipulación remota de radiotelescopios. En Andrés and José (2018) se describe una estructura de computación distribuida empleados en robótica para constituir sistemas de teleoperación en telescopios; en Collado O. and Ruartes (2018) se propone la arquitectura del sistema de control y el diseño hardware y software para el comando remoto del complejo astronómico *El Leoncito* (CASLEO) en Argentina; en A. and A. (2006) se muestran resultados obtenidos mediante un sistema mecánico controlado a través de LabView para el posicionamiento remoto de los ejes de Azimuth y Elevación de un radiotelescopio.

1. Objetivos

Objetivo general

Repotenciar el sistema de posicionamiento automático del domo del Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander a partir del rediseño de su interfaz de control de movimiento.

Objetivos específicos

Evaluar, diagnosticar y corregir la funcionalidad del domo del Complejo Astronómico UIS;

Diseñar una nueva interfaz de control de movimiento que replique la funcionalidad del domo a partir de actualización tecnológica de la infraestructura existente;

Desarrollar un protocolo de pruebas que permita verificar la validez de los diseños.

2. Valoración inicial del sistema

Desde su instalación original en el año 2014, el domo del *Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander* no había recibido (hasta antes de la realización del presente trabajo de grado), una valoración técnica respecto a su estado funcional.

Como consecuencia de ello, se detectó un deterioro de las componentes eléctricas del mecanismo, a partir de la evaluación y corrección de inconvenientes técnicos descritos en el presente *Capítulo*.

2.1. Estado inicial del domo

La Fig. 3, ilustra el diagrama de bloques del sistema PRODOME PD-15. Como se observa, este se constituye de partes electromecánicas que en conjunto permiten gobernar el movimiento del domo respecto a las coordenadas de posicionamiento deseadas. A partir de ello, se define la operación normal o nominal del sistema según descrito en el manual provisto por el fabricante Technical Innovations (2001).

Sin embargo, tras realizar una verificación inicial del estado operativo del domo instalado en el Edificio de la Facultad de Ciencias Humanas de la UIS, junto con personal del Grupo de Radioastronomía *HALLEY* de la Escuela de Física, pudieron detectarse las siguientes anomalías:

1. Existía una gran dificultad en la apertura de la compuerta superior, manifestada a través de un sobre esfuerzo del motor encargado de esta tarea;

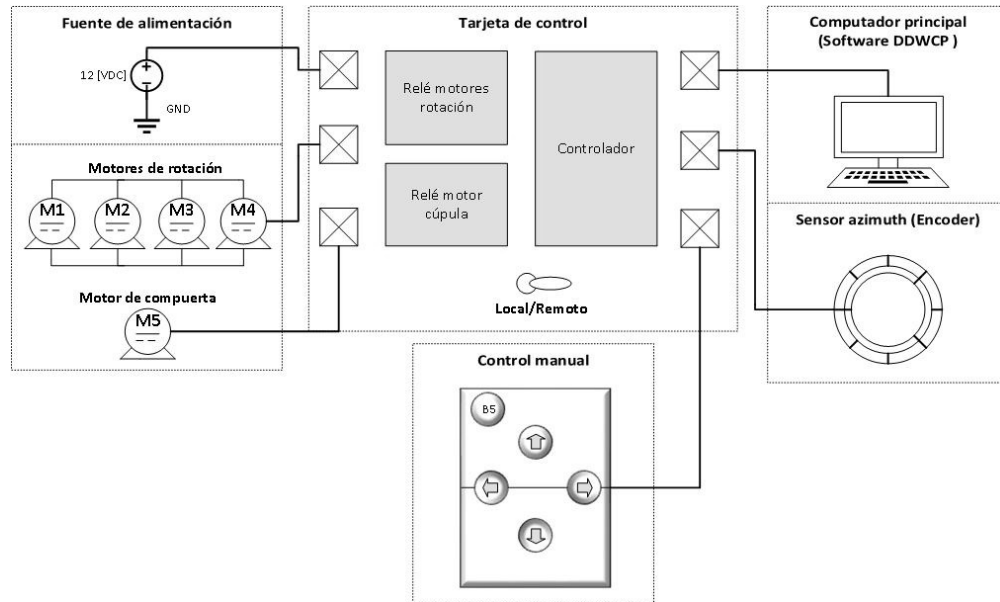


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema PRODOME PD-15

2. La tarjeta electrónica encargada de la operación automática del servomecanismo, no se encontraba conectada, debido a un “apararante” malfuncionamiento. En vista de lo anterior, la operación del sistema se encontraba en modo manual, a través de interruptores conectados directamente a la fuente de alimentación del sistema;
3. La mayoría de los cables de conexión hacia los motores del servomecanismo se encontraban en avanzado estado de corrosión (ver Fig. 4), posiblemente debida a efectos de humedades previas en el entorno de trabajo del sistema (tomando en cuenta que se trata de una cúpula operando al aire libre).

2.1.1. Ajuste apertura de compuerta superior. Una vez detectadas las irregularidades mencionadas respecto a la operación real del domo, se procedió inicialmente a la verificación de las causas que impedían la libre movilización del mecanismo de apertura y cierre de compuerta,

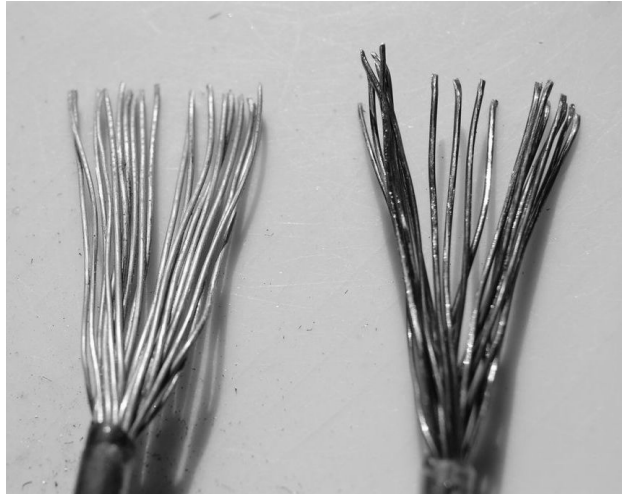


Figura 4. Deterioro en cables de conexión, mostrando el contraste de un cable normal (izquierda) respecto a uno afectado por corrosión (derecha)

ilustrado en la Fig. 5.

En esencia, se observó una carencia de fuerza por parte de los motores para levantar la compuerta. Este hecho representaba un movimiento excesivamente lento del mecanismo en la fase de apertura, que se complementaba por vibraciones en la fase de cierre, debidas a un aparente desajuste de la estructura.

Ante esto se sugirió revisar el sistema de alimentación de los motores (fuente de poder) y realizar un mantenimiento preventivo al mecanismo (limpieza y engrase de poleas, guayas y otras partes móviles).

2.1.2. Análisis del cableado. En un segundo momento, se analizó el dimensionamiento de los cables empleados para alimentar los motores de impulsión del servomecanismo.

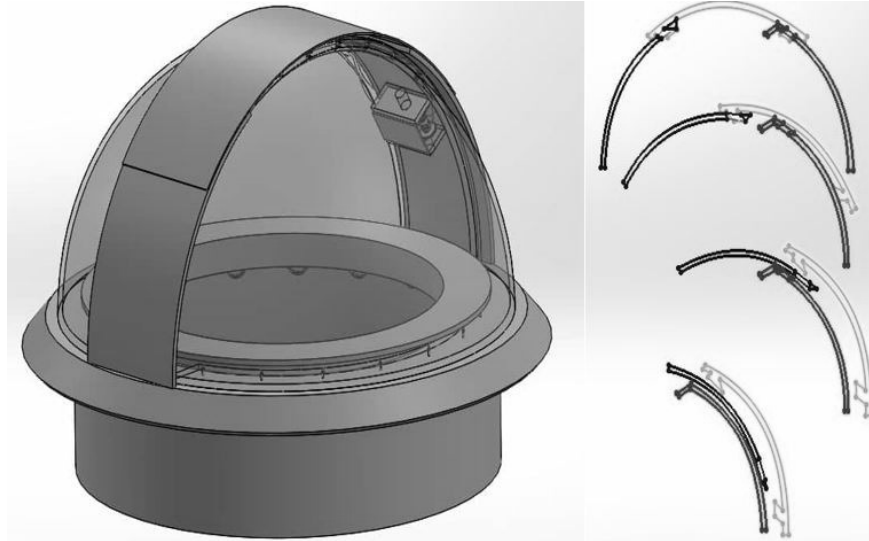


Figura 5. Ilustración de movimiento para compuerta superior

Para ello, se valoró la corriente nominal circulante a partir de un estudio de las magnitudes eléctricas de arranque, realizado de manera individual sobre cada motor operando en vacío. El experimento consistió en desmontar uno de los motores del servomecanismo, procediendo a energizarlo a su voltaje nominal de 12 VDC. Posteriormente, se analizó la lectura de corriente empleando una pinza volti-amperimétrica, que permitió evidenciar valores pico de 2.5 A. Por tanto, tomando en cuenta la configuración de los motores del servomecanismo ilustrada según el plano eléctrico de conexiones de la Fig. 6, asumiendo valores pico para todos los motores, se esperaba una corriente máxima de 10A.

Dicha magnitud de corriente satisface ampliamente el cableado eléctrico de calibre # 14 encontrado en las conexiones del PRODOME PD-15, corroborando además las recomendaciones

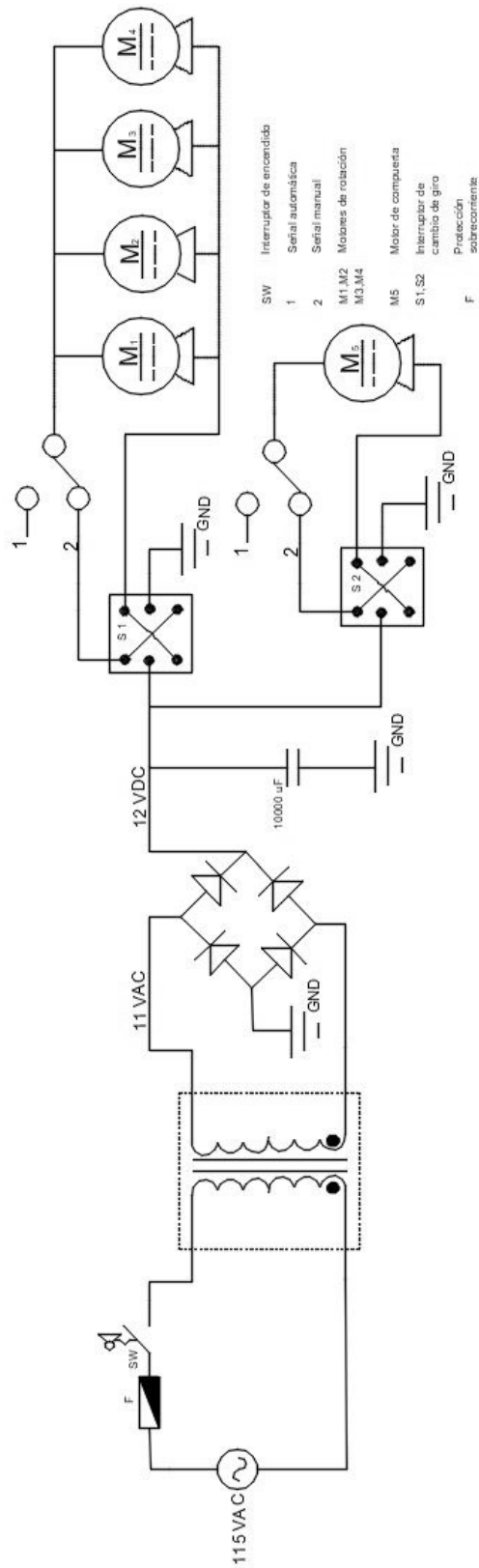


Figura 6. Plano eléctrico de conexión de motores

dadas en el manual técnico del fabricante Technical Innovations (2001). Por tanto, se concluye que el deterioro observado en las conexiones de los motores de rotación se debió a influencias climáticas del entorno (principalmente humedades) que deben evitarse en adelante para asegurar un apropiado suministro de potencia hacia los motores del sistema.

2.1.3. Análisis de la fuente de alimentación. Habiendo verificado el apropiado estado de los motores del servomecanismo, los problemas de fuerza de arrastre en el movimiento de las piezas mecánicas fueron asociados a deficiencias en suministros de potencia eléctrica. De esta manera, se procedió con el análisis de los datos de placa de la fuente de alimentación, encontrando como valores nominales de entrada: 115-230 VAC / 175 VA / 50-60 Hz; y de salida: ± 19 VDC / 12 A.

Estos valores nominales contrastan con los encontrados en la operación real del sistema: 1) tensión de salida en circuito abierto: 11.8 VDC; 2) tensión de salida durante movimiento de motores: 8.6 VDC.

Más aún, por las características de conexión eléctrica del Edificio de la Facultad de Ciencias Humanas de la UIS el sistema PRODOME PD-15 se encontraba operando a una tensión de entrada de 115 VAC, hecho que motivó ajustar la configuración interna de los devanados secundarios del transformador dual (de marca Signal Transformer y referencia A41-175-16) de una conexión paralela a una conexión serie, buscando elevar la tensión aplicada como entrada al circuito rectificador (que pasó de 8 VAC a ser de 16.2 VAC) mejorando ostensiblemente la velocidad de respuesta

del servomecanismo.

Sin embargo, la salida rectificadora bajo estas nuevas condiciones alcanzó 24.8 VDC (tomando en cuenta que en un rectificador con capacitor de rizado la tensión en DC se hace cercana al voltaje pico en AC, correspondiente con $\sqrt{2} \times \text{VAC}$), superando el máximo permitido de alimentación en los circuitos electrónicos de la tarjeta de control (12-16 VDC).

De esta manera, para garantizar una operación apropiada tanto de la parte de gobierno como de la parte de potencia del sistema, se optó por reconstruir el transformador de la fuente para satisfacer las siguientes especificaciones de entrada: 110 VAC / 175 VA / 60 Hz; y de salida: 11 VAC / 20 A.

2.1.4. Análisis de la tarjeta de control. La apariencia de la tarjeta de control se aprecia en la Fig. 7, demostrando que al momento de la valoración la misma no presentaba deterioro físico.

A partir de ello, se procedió a realizar la verificación de conexiones de alimentación y de señales de control, con base en la operación del sistema documentada en el manual del fabricante del PRODOME PD-15 Technical Innovations (2001). Tomando como base lo anterior, se resaltan las siguientes características operativas del sistema:

- La tarjeta de control realiza la interfaz física entre el sistema PRODOME PD-15 y el software de comando de movimiento denominado DDWCP (Digital Dome Works Control Program);

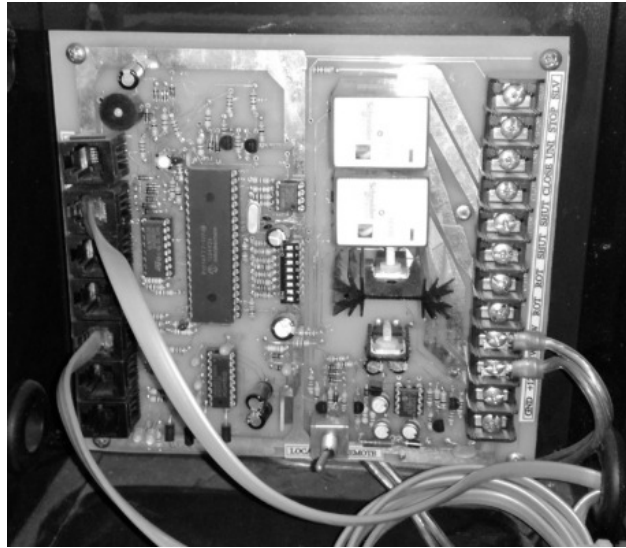


Figura 7. Tarjeta de control del PRODOME PD-15

- La operación manual del sistema puede desarrollarse a partir de una placa con pulsadores, permitiendo controlar de manera individual el movimiento del motor accionando la compuerta (en dirección de apertura y cierre) y los motores a cargo de la rotación del domo (en sentido horario -clockwise- y antihorario -counterclockwise-);
- El modo de operación manual también puede realizarse electrónicamente a través del DDWCP;
- El modo automático de operación es exclusivamente ejecutable a través del DDWCP, para lo cual se toma en cuenta la información de posición adquirida a partir de un sensor tipo encoder para determinar (por conteo de pulsos) el ángulo de *azimuth* del domo (posición horizontal) y la posición inicial o HOME mediante sensores magnéticos de final de carrera;
- En la placa con pulsadores se destaca un botón (denominado B5 en la Fig. 3) con funcionalidad preprogramada ejecutando diferentes rutinas de posicionamiento, dentro de las cuales

se destaca la posición HOME. A partir de lo anterior, cualquier rutina de movimiento puede ser interrumpida a través de este pulsador, forzando el sistema a abortar el desplazamiento inicialmente programado redirigiéndolo a la posición de inicio;

- La posición HOME y otras coordenadas de posicionamiento se configuran y ejecutan mediante la herramienta DDWCP, a partir de una conexión serial (RS-232) entre la tarjeta de control y el computador que aloja el software de comando de movimiento.

Habiendo entendido lo anterior y teniendo en cuenta que a partir de las valoraciones realizadas (en la compuerta superior, el cableado y la fuente de alimentación) la ejecución manual del movimiento del PRODOME PD-15 era ya funcional, se procedió a configurar la ejecución del movimiento a través de la tarjeta de control y el software de comando de movimiento denominado DDWCP.

Para ello, el primer paso consistió en descargar de la página del fabricante una versión actualizada para el DDWCP compatible con Windows 7 (<http://www.homedome.com>). Posteriormente, se realizó la conexión física entre el PC y la tarjeta de control utilizando un convertidor USB/RS232.

Así entonces, teniendo apropiadamente instalados los elementos de hardware y software necesarios, se ejecutaron procedimientos de verificación sobre la operación remota del PRODOME

PD-15 a partir de la información proporcionada en el manual del fabricante Technical Innovations (2001), pudiéndose constatar la correcta ejecución de las distintas funcionalidades de mando programables desde el software de comando de movimiento.

El resumen de los estados operativos del sistema para los modos manual y automático se presenta en el diagrama GRAFCET de la Fig. 8, con subrutinas asociadas en la Fig. 9 y convenciones listadas en la Tabla 1.

Como se observa del diagrama, la operación se divide en dos ramales principales: el *local* (a la izquierda) y el *remoto* (a la derecha). A su vez, en el modo *local* se pueden realizar movimientos de rotación del domo y de apertura de compuerta dependiendo de la selección realizada en los botones $B_1 - B_4$. Asimismo, se ejecuta una rutina especial de HOME al presionar B_5 . Por su parte, para el modo de operación *remota* se cuenta con ejecuciones similares a partir de los comandos: OPEN, CLOSE, HOME y STOP en el software de comando de movimiento (DDWCP). A su vez, este modo de operación posee la opción de entrenar el sistema para memorizar trayectorias (TRAIN) y determinar el movimiento para una coordenada de *azimuth* deseada (GOTO).

Tabla 1

Convenciones diagrama GRAFCET

Convención	Descripción
M	modo de operación
$B_1 : B_5$	botones placa de pulsadores
S_a	final de carrera compuerta abierta
S_c	final de carrera compuerta cerrada
H	sensor posición HOME
X_1	comando OPEN en DDWCP
X_2	comando CLOSE en DDWCP
X_3	comando TRAIN en DDWCP
X_4	comando GOTO en DDWCP
X_5	comando HOME en DDWCP
$Stop$	comando STOP en DDWCP
$H+$	rotación sentido horario
$H-$	rotación sentido antihorario
$V+$	apertura compuerta
$V-$	cierre compuerta
t_{B5}	tiempo de pulsado para B_5
$C1$	$t_{B5} \leq 1 s$
$C2$	$1 < t_{B5} \leq 2 s$
$C3$	$t_{B5} > 2 s$
P	Lectura sensor posición horizontal (azimuth)
P_D	Lectura posición horizontal deseada
$P1$	$P \geq 180^\circ$
$P2$	$P < 180^\circ$
$C4$	$P_D > P + 180^\circ$
$C5$	$P_D < P$
$C6$	$P_D < P - 180^\circ$
$C7$	$P_D > P$
$C8$	$P_D = P$
$P3$	$(C4 + (\overline{C4} C5)) P2$
$P4$	$\overline{C4} \overline{C5} P2$
$P5$	$(C6 + (\overline{C6} C7)) P1$
$P6$	$\overline{C6} \overline{C7} P1$

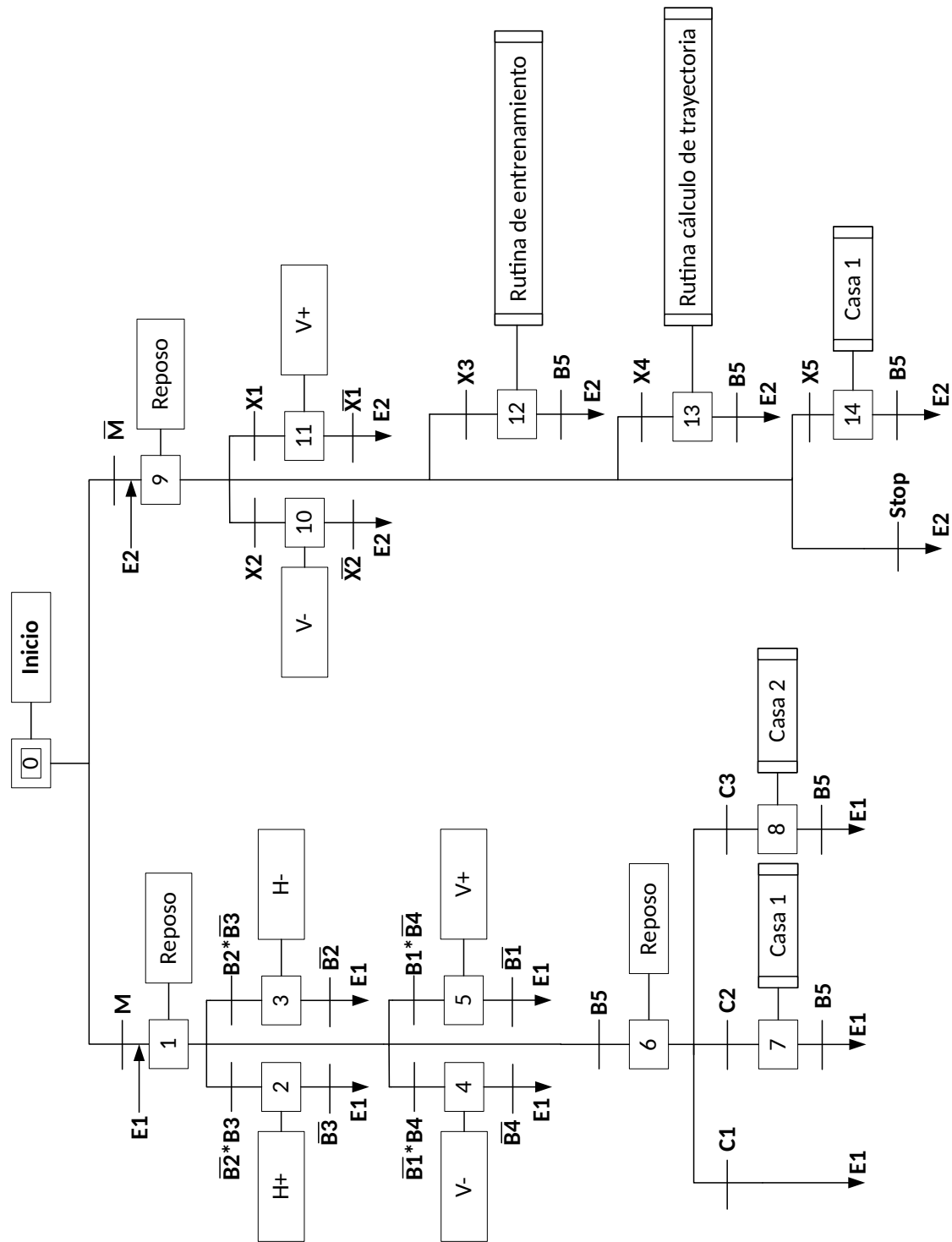


Figura 8. Diagrama GRAFCET de operación del sistema PRODOME PD-15

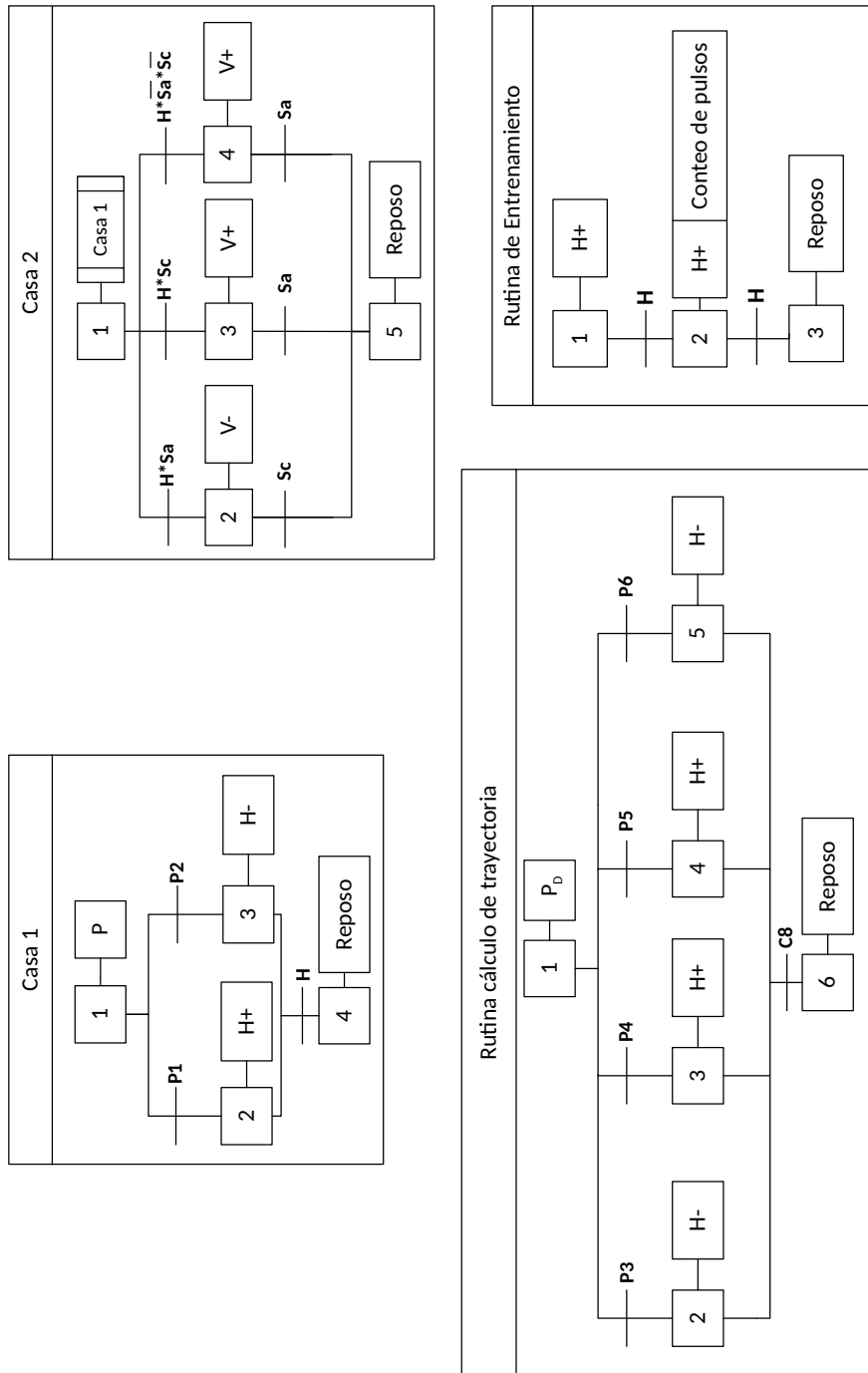


Figura 9. Subrutinas de diagrama GRAFCET

3. Rediseño de tarjeta de control

A pesar de haber recuperado la funcionalidad de domo del *Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander* a través de las adecuaciones descritas en el *Capítulo* anterior, existe un inminente riesgo de volver a un estado de inoperabilidad del sistema ante la eventual falla de la tarjeta encargada de realizar la interfaz de potencia para el control del movimiento (tarjeta de control).

Debido a esto y, ante la falta de información técnica por parte del fabricante al respecto del plano circuital, los dispositivos empleados y los algoritmos programados, se propone en el presente *Capítulo* el diseño para una tarjeta electrónica equivalente que permita realizar un reemplazo en caso de ser requerido.

Para ello, se analizarán las especificaciones de requerimiento y se aplicarán las reglas de diseño que permitan sintetizar un sistema electrónico que facilite realizar las tareas esenciales de operación del domo.

3.1. Análisis de requerimientos y selección de componentes

Retomando las ideas propuestas en la *Sección ??* y más precisamente la descripción general del sistema PRODOME PD-15 realizada en la Fig. 3, se identifica que la *tarjeta de control* posee como entradas: 1) la fuente de alimentación; 2) el sensor de *azimuth* (encoder) y los botones $B_1 - B_5$ del control manual. Asimismo, posee como salidas las señales de activación de: 1) los

motores de *rotación* y 2) del motor de *compuerta*, junto con una comunicación bidireccional con la interfaz de usuario del DDWCP. A partir de ello, se requiere un sistema electrónico que permita replicar la funcionalidad del diagrama GRAFCET de la Fig. 8, tras interactuar con estos dispositivos de entrada y salida.

A continuación, se propone la selección y configuración de elementos para constituir una solución que satisfaga dichos requerimientos.

3.1.1. Etapa de potencia. De la *Subsección 2.1.2*, se sabe que el consumo individual de corriente de los motores alcanza un valor máximo de 2.5 A / 12 VDC. Por tanto, se seleccionó la tarjeta integrada de marca Cytron y referencia *MDD10A*, para ejecutar la tarea de circuito *driver* de los motores de *rotación* y el motor de *compuerta*. Las especificaciones técnicas del dispositivo se presentan en la Tabla 2 y su apariencia física en la Fig. 10. A partir de ello, el diagrama esquemático de la Fig. 12 permite observar la distribución de conexiones eléctricas entre el dispositivo y los motores.

Tabla 2

Características técnicas driver MDD10A

Parámetro	Valor
Voltaje alimentación	5 - 30 VDC
Corriente máxima	10 A
Nivel lógico alto	3 - 5.5 V
Nivel lógico bajo	0 - 0.5 V
Frecuencia máxima PWM	20 kHz



Figura 10. Tarjeta seleccionada como *driver* de motor

La operación del dispositivo se realiza mediante dos pines: 1) DIRx para controlar la dirección del giro y 2) PWMx para controlar por ancho de pulso el porcentaje de alimentación aplicado al motor en sus terminales. En este caso el valor asignado a x indica cuál de los circuitos activar en la tarjeta dual, siendo $x = 1$ el circuito del motor de compuerta y $x = 2$ el circuito de los motores de rotación del domo.

3.1.2. Etapa de alimentación. A partir de la descripción realizada para el *driver* de motor, es claro que se requieren 12 VDC / 11 A de alimentación constante en la etapa de potencia. Dichas consideraciones de consumo pueden ser satisfechas por la fuente de poder del actual PRODOME PD-15, previamente descrita en la *Subsección 2.1.3* e integrada a la Fig. 12.

De esta manera, es posible garantizar condiciones de suministro no sólo a nivel de la alimen-

tación de motores sino también para la etapa de cálculo digital (incluyendo la interfaz de usuario y el suministro de alimentación para el encoder), cuyos consumos promedio se mencionarán más adelante en el presente texto.

3.1.3. Etapa de cálculo digital. El movimiento de rotación del domo y de apertura y cierre de compuerta, se logra a través del automatismo de la Fig. 8. Dicha máquina de estados puede implementarse fácilmente mediante un microcontrolador, de manera tal que analizando las condiciones de ciertas variables de entrada, puedan generarse como salidas las señales de activación del circuito de *driver* de motor y con ello el funcionamiento deseado del sistema.

Para elegir el microcontrolador se comienza por la selección de un fabricante. Dentro de toda la gama posible de productos en el mercado, se selecciona a *Microchip Technology Inc.* debido a su amplia trayectoria y a la variada disponibilidad de soluciones embebidas adecuadas a casi cualquier tipo de aplicación.

Posteriormente, se define la cantidad de pines de entrada y salida necesarios para satisfacer los requerimientos de manejo de información. En particular, se requieren como mínimo:

- *dos* salidas de *PWM* y *dos* salidas digitales para manipular el *driver* de motor;
- *tres* entradas digitales para detectar las señales de los finales de carrera: S_a , S_c y H ;
- *una* entrada digital para *conteo* de pulsos del encoder;
- *cinco* entradas digitales para los botones $B1 : B5$;

- seis salidas digitales para conectar una pantalla de visualización.

A partir de lo anterior, se selecciona el microcontrolador PIC18F4525 como alternativa para implementar el sistema embebido de cálculo digital. Además de satisfacer los requerimientos de entrada y salida indicados, el PIC18F4525 posee prestaciones de memoria suficientes para permitir la programación de las rutinas de operación (GRAFCET) del sistema.

Adicional al microcontrolador, se seleccionó un modelo genérico de pantalla de cristal líquido (LCD) de 20 caracteres y 4 líneas (como la ilustrada en la Fig. 11), a manera de interfaz de visualización para la posición angular del domo y el monitoreo de la condición de operación del mecanismo.



Figura 11. Pantalla seleccionada como interfaz de visualización

Las respectivas conexiones de entrada y salida para el microcontrolador se detallan en el diagrama esquemático de la Fig. 12. A su vez, un listado del nombre y función los pines del

PIC18F4525 utilizados, se presenta en la Tabla 3. Para información más específica de los pines de conexión del microcontrolador y de sus periféricos, se recomienda al lector interesado consultar Microchip Technology (2008).

Tabla 3

Conexiones realizadas con el PIC18F4525

Pin	Descripción
RA0	Botón de apertura de compuerta $V+$ (B_1)
RA1	Botón de rotación sentido antihorario $H-$ (B_2)
RA2	Botón de rotación sentido horario $H+$ (B_3)
RA3	Botón de cierre de compuerta $V-$ (B_4)
RA4	Botón de función especial (B_5)
RB0	Conexión con el pin RS de la LCD
RB1	Conexión con el pin E de la LCD
RB2	Conexión con el pin $D4$ de la LCD
RB3	Conexión con el pin $D5$ de la LCD
RB4	Conexión con el pin $D6$ de la LCD
RB5	Conexión con el pin $D7$ de la LCD
RC0	Control de sentido de giro de M_5 (Dir 1)
RC1	Control de velocidad del motor M_5 (PWM1)
RC2	Control de sentido de giro de M_{1-4} (Dir2)
RC3	Control de velocidad del motor M_{1-4} (PWM2)
RC4	Señal sensor posición horizontal (azimuth)
VSS	Tierra fuente de alimentación
VDD	Alimentación de 5 VDC
RE0	Señal del sensor posición HOME
RE1	Señal del final de carrera superior (S_a)
RE2	Señal del final de carrera inferior (S_c)
RE3	Reset

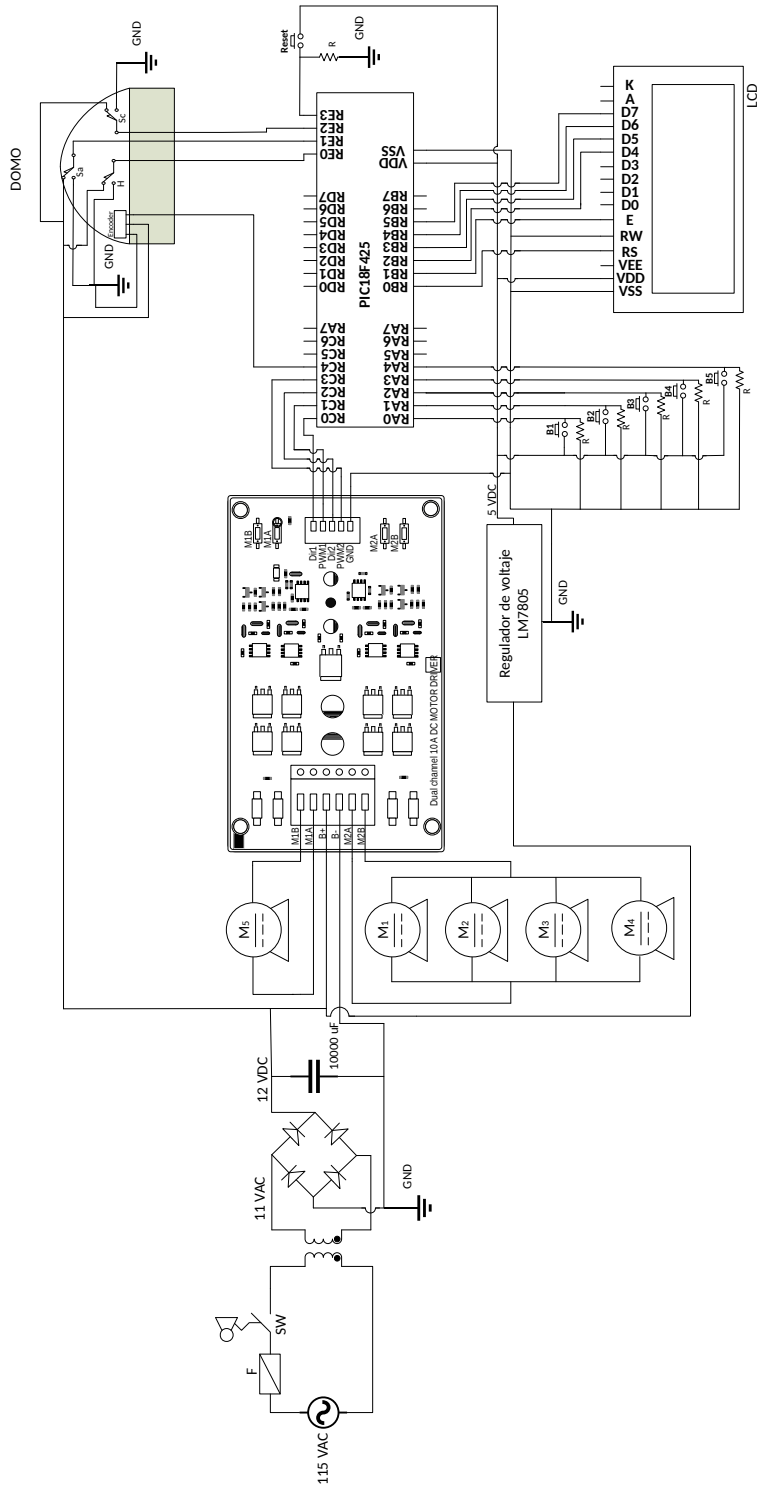


Figura 12. Diagrama de conexiones para sistema diseñado

3.2. Verificación de funcionalidad del diseño

Tomando en cuenta la versatilidad que ofrece un microcontrolador para interactuar con el entorno, se considera que el verdadero éxito del sistema final diseñado a partir del esquema de la Fig. 12, se centra en la apropiada programación de sus rutinas de operación.

Para ello, el microcontrolador PIC18F4525 soporta ambientes de programación de alto nivel basados en lenguaje C++ facilitando la implementación del diagrama GRAFCET de la Fig. 8 mediante el uso de sentencias de tipo condicional, ciclos y programación de funciones para manejo de puertos, registros y periféricos disponibles en el dispositivo.

Se realizó, por tanto, una verificación por simulación de la programación del microcontrolador empleando la herramienta *PROTEUS* (<https://www.labcenter.com/>) de amplia utilidad y popularidad en el diseño electrónico asistido por computadora, a partir de la implementación del equivalente circuital ilustrado en la Fig. 13, en el cual se observan interruptores para simular las señales de entrada, además de motores y una pantalla de visualización para ilustrar las acciones de salida e indicar el estado de operación del autómeta.

De esta manera, fue posible realizar la operación *manual* del mecanismo a partir del movimiento controlado de los motores del *Domo*. Posteriormente, se realizaron verificaciones de la operación *automática* de subrutinas programadas en el PIC18F4525 para tareas como el segui-

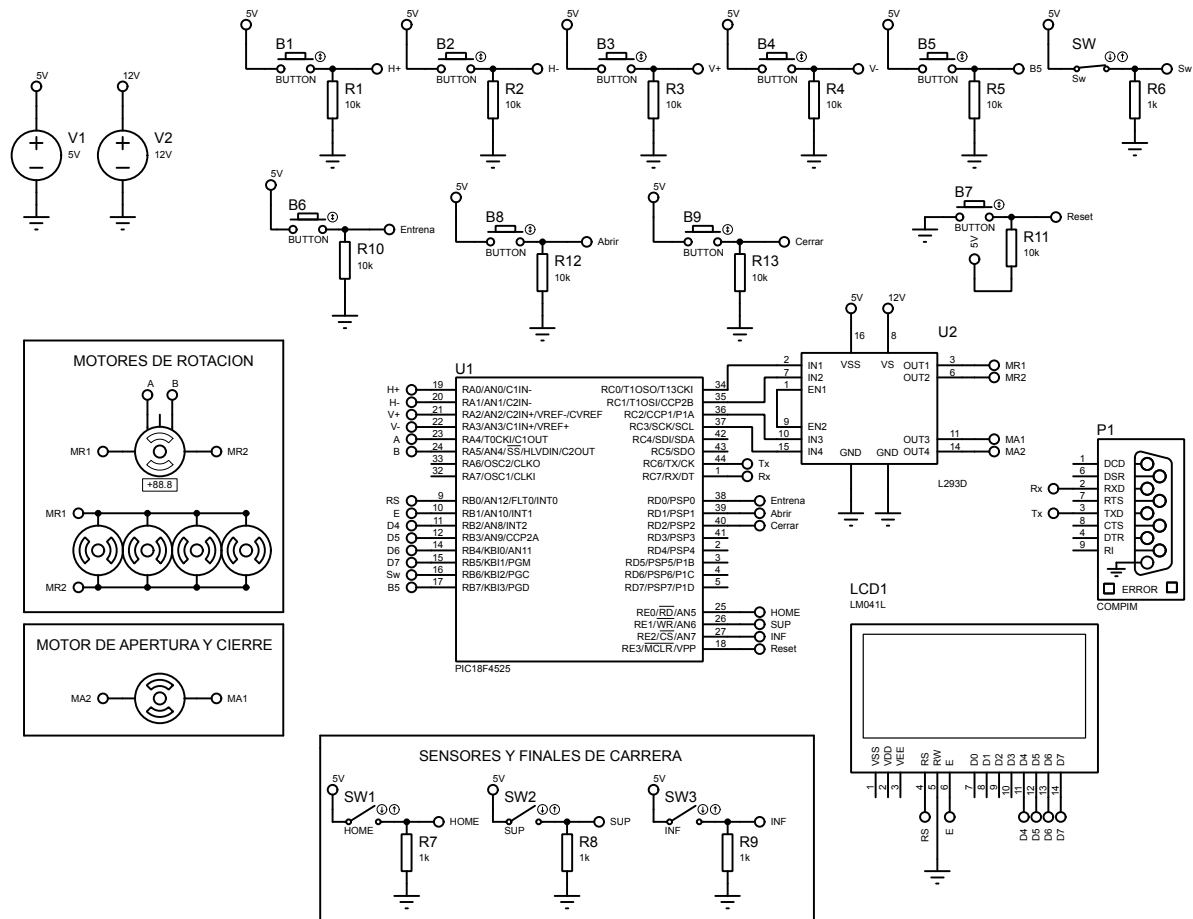


Figura 13. Implementación de sistema en *PROTEUS* para verificación por simulación de trayectorias o el retorno a la posición HOME desde ubicaciones arbitrarias.

4. Conclusiones

A partir de los desarrollos presentados y los resultados obtenidos, es posible enunciar la siguiente conclusión general:

- Se repotenció el sistema de posicionamiento automático del domo del Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander a partir del rediseño de su interfaz de control de movimiento. En particular, se identificaron los inconvenientes técnicos que impedían una apropiada operación del electromecanismo y se realizaron los correctivos necesarios para recuperar su funcionalidad, no sólo en el corto plazo sino también en la medida que exista obsolescencia de sus partes, a partir del diseño de una nueva tarjeta de potencia para la ejecución del movimiento.

De manera más puntual:

- Se evaluó, diagnosticó y corrigió la funcionalidad del domo del Complejo Astronómico UIS. Tal y como fue abordado en el *Capítulo ??*, se realizó una valoración inicial del domo en la cual se identificaron inconvenientes de fuerza para realizar la apertura de su compuerta que fueron atribuidos a problemas de suministro eléctrico por parte de la fuente de alimentación. Asimismo, se revisaron las conexiones eléctricas debido al deterioro en parte del cableado de los motores encargados del movimiento. También se pudo constatar el buen estado de la tarjeta de potencia y su interacción con el software de control del movimiento.
- Se diseñó una nueva interfaz de control de movimiento que replicó la funcionalidad del domo a partir de actualización tecnológica de la infraestructura existente. Para ello, se definió la funcionalidad del sistema presentada en el diagrama GRAFCET de la Fig. 8 y se propuso el esquema circuital ilustrado en la Fig. 12 para replicar su operatividad a partir de programación del microcontrolador PIC18F4525 y sus periféricos asociados. La elección de los dispositivos de potencia, alimentación y cálculo digital, fue detallada a lo largo del *Capítulo 3*.
- Se desarrolló un protocolo de pruebas que permitió verificar la validez de los diseños. Más precisamente, a partir de la funcionalidad definida en el diagrama GRAFCET de la Fig. 8 y el esquema circuital propuesto en la Fig. 12, se utilizó la herramienta de diseño electrónico asistido por computadora denominada *PROTEUS* para verificar la correcta operación de

rutinas programadas en el microcontrolador PIC18F4525 a través de la implementación de sentencias de tipo condicional, ciclos y programación de funciones para manejo de puertos, registros y periféricos disponibles en el dispositivo empleando programación de alto nivel en lenguaje C++.

4.1. Recomendaciones

Tomando en consideración que el deterioro del cableado descrito en la *Sección 2.1.2* fue debido a influencias climáticas del entorno (principalmente humedades), se recomienda restringir las observaciones con cúpula abierta a condiciones de cielo despejado (sin lluvia, ni viento) con el fin de prolongar el buen estado de las partes del sistema.

4.2. Trabajo futuro

Un complemento directo del presente trabajo de grado, será la implementación física de la tarjeta de potencia diseñada, con el ánimo de verificar en la práctica su capacidad para ejecutar los diferentes estados de la operación del domo del Complejo Astronómico de la Universidad Industrial de Santander.

Referencias Bibliográficas

- A., I. S. and A., B. H. (2006). Control of a radio telescope via the internet. *Proceedings of the IEEE South East Conference. Memphis (TN)*.
- Andrés, V. R. and José, G. A. (2018). Diseño e implementación de un observatorio robótico teleoperado basado en Robot Operating System. *Revista Chilena de Ingeniería*, 26(Edición Especial):12–19.
- Arenas Florez, M. and Perez Archila, L. M. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico en DC aislado para alimentar el telescopio de Muones (Mute) desarrollado por el grupo de investigación en relatividad y gravitación (GIRG). Trabajo de grado (ingeniero electricista). Ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.
- Collado O., Fernández C., G. R. F. G. A. J. and Ruartes, H. (2018). Control remoto de telescopios. *Asociación Argentina de Astronomía. Boletín de artículos científicos.*, 60.
- Forero Guitierrez, K. J. and Salamanca Coy, J. L. (2018). Diseño e implementación de la electrónica de discriminación y registro para un telescopio de muones portátil para el estudio de rayos cósmicos atmosféricos. Trabajo de grado (ingeniero electrónico). Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica electrónica y de telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.

Microchip Technology (2008). Pic18f2525/2620/4525/4620: Enhanced flash microcontrollers.

Technical reference manual, Microchip Technology Inc., USA.

Ministerio (Diciembre 13 de 2011). Nota de Prensa: "UIS inaugura hoy el Planetario

Halley". Technical report, Republica de Colombia. Ministerio de Educación Nacional

(<https://www.mineducacion.gov.co/>).

Technical Innovations (2001). Digital Dome Works Model 4. Technical Reference Manual, Tech-

nical Innovations, Inc. 22500 Old Hundred Road Barnesville, MD 20838 USA.

Universidad Industrial de Santander (Acceso en octubre de 2018). Grupo de Investigación

en Relatividad y Gravitación (GIRG) de la Escuela de Física de la UIS. Página web:

<https://halley.uis.edu.co/GIRG/>. Technical report, Universidad Industrial de Santander.