



**LACYQS**

Laboratorio Nacional de Sistemas  
de Concentración Solar y Química Solar

# Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración Solar y Química Solar

Manual de Operación de Sistema de Control de Campo Experimental de  
Torre Central (CEToC)

**Elaborado por:**

Cuitláhuac Iriarte Cornejo



### Índice de contenido

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Introducción.....                 | 3  |
| Sistema de Control.....           | 4  |
| Sistema Remoto.....               | 5  |
| Eje de coordenadas del Campo..... | 9  |
| Control SCADA.....                | 10 |
| Operación.....                    | 13 |
| Referencias:.....                 | 21 |

### Índice de Figuras

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Arquitectura de comunicación continua.....                             | 5  |
| Figura 2: Diagrama de flujo cRIO.....                                            | 6  |
| Figura 3: Diagrama a bloques de los Elementos de Control un solo Helióstato..... | 7  |
| Figura 4: Diseño de control de Campo de Helióstatos.....                         | 8  |
| Figura 5: Ejes de coordenadas en Campo de Heliostatos.....                       | 9  |
| Figura 6: Torre Central.....                                                     | 10 |
| Figura 7: Diagrama de flujo SCADA.....                                           | 12 |
| Figura 8: SCADA principal en operación.....                                      | 16 |
| Figura 9: Panel de Control.....                                                  | 16 |
| Figura 10: Instrumento virtual "Configuracion".....                              | 19 |
| Figura 11: Selección de Helióstatos.....                                         | 20 |
| Figura 12: Control de Helióstato(tiempo real).....                               | 21 |
| Figura 13: Objetivos Individuales.....                                           | 22 |
| Figura 14: Helióstatos en proceso de alcanzar el objetivo seleccionado.....      | 23 |
| Figura 15: Helióstatos una vez que alcanzaron el objetivo seleccionado.....      | 24 |

### Introducción

El sistema de control y automatización CEToC se encuentra implementado en la plataforma LabVIEW®, es un sistema de control distribuido, donde los parámetros de control y monitoreo se ingresan desde una computadora central, para la facilidad de operación y visualización de las variables de proceso en tiempo real.

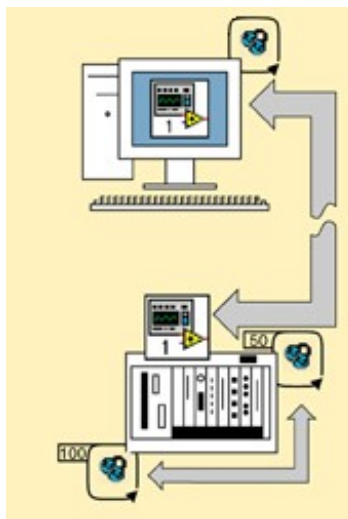
Tiene la capacidad de monitoreo en tiempo real de cada uno de los helióstatos, para esto es necesario abrir la ventana del Helióstato especificado, donde se puede ver la *posición actual y objetivo* del helióstato, la corrección del *offset* instantánea, las *corrientes* de los motores de *acimut y elevación*, los controles de modo manual y modo automático(default).

Se requirió el uso extensivo de los controladores cRIO en modo FPGA, para los sistemas que requieren alta velocidad y determinismo, como el control de posición en los motores de Acimut y Elevación, así como el manejo de datos para su almacenado, visualización y transporte por la red mediante las rutinas de software internas de LabVIEW®; el uso de paquetes matemáticos como Octave fueron de gran utilidad para validar el desarrollo de las ecuaciones vectoriales y el análisis de datos obtenidos.

Los sistemas remotos(hardware) utilizados son los Compact RIO(cRIO) NI-9074-cRIO, una ventaja de utilizar este sistema es la versatilidad de operación, diseño y modificación del mismo, gracias a la programación remota, una vez instalado un cRIO en campo en caso de modificaciones, no hay necesidad de realizar reprogramaciones “in situ”, ya que se pueden realizar desde el cuarto de control en la computadora principal.

### Sistema de Control

El cRIO cuenta con un sistema operativo en tiempo real(RTOS) vxWorks® y es capaz de ejecutar un programa desarrollado y compilado en Labview de forma independiente, compartiendo variables en tiempo real con la computadora central, de esta forma el cRIO se encarga de ejecutar rutinas de control y adquisición de datos de forma determinística, mientras que la computadora central realiza la entrada y el despliegue de información de configuración, control y sensado, así como del almacenado en archivos para su posterior análisis. La figura 1 muestra el esquema de operación conocido como “arquitectura de comunicación continua” en LabVIEW®.



*Figura 1: Arquitectura de comunicación continua*

Quedando el sistema dividido en dos partes principales:

- El programa SCADA central instalado en la computadora central.
- Los programas remotos instalados en los cRIOS.

### Sistema Remoto

Cada controlador cRIO tiene la capacidad de controlar tres helióstatos en tiempo real, esto lo realiza en base al diagrama de flujo mostrado en la figura 2.

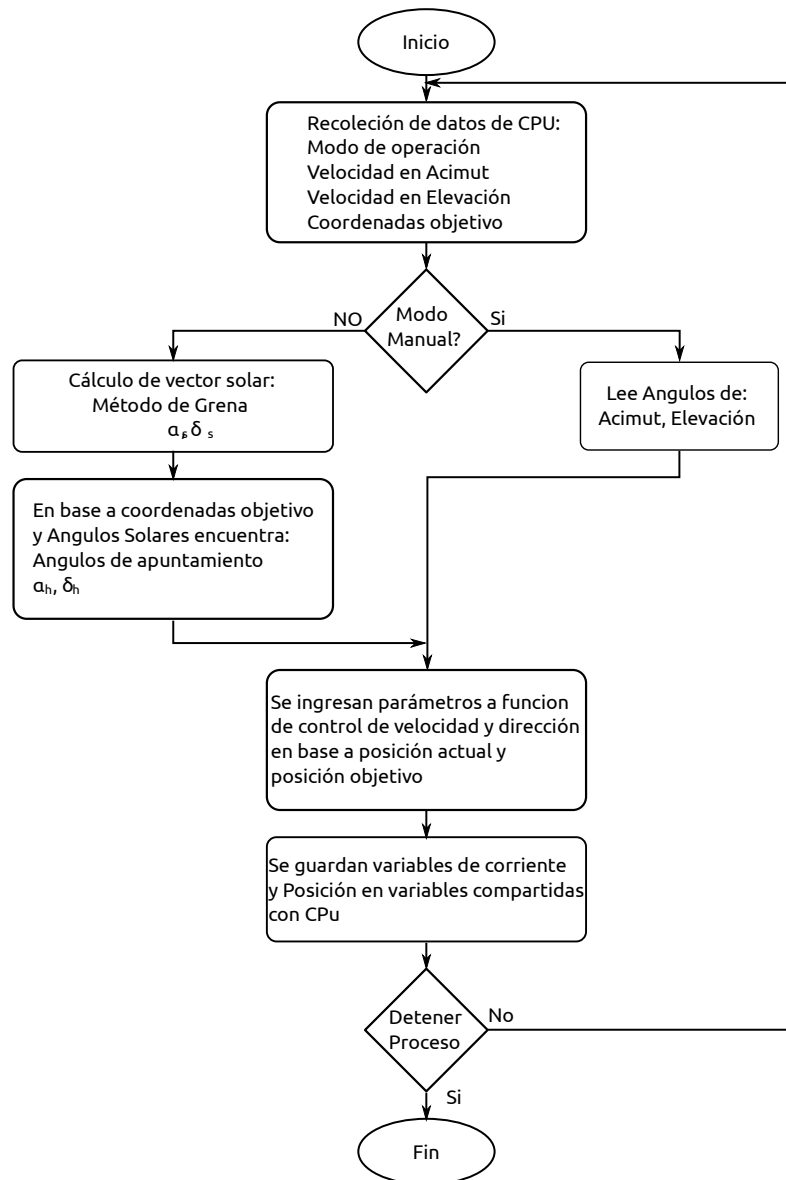


Figura 2: Diagrama de flujo cRIO

Los componentes de monitoreo y control por cada helióstato se muestran en la figura 3:

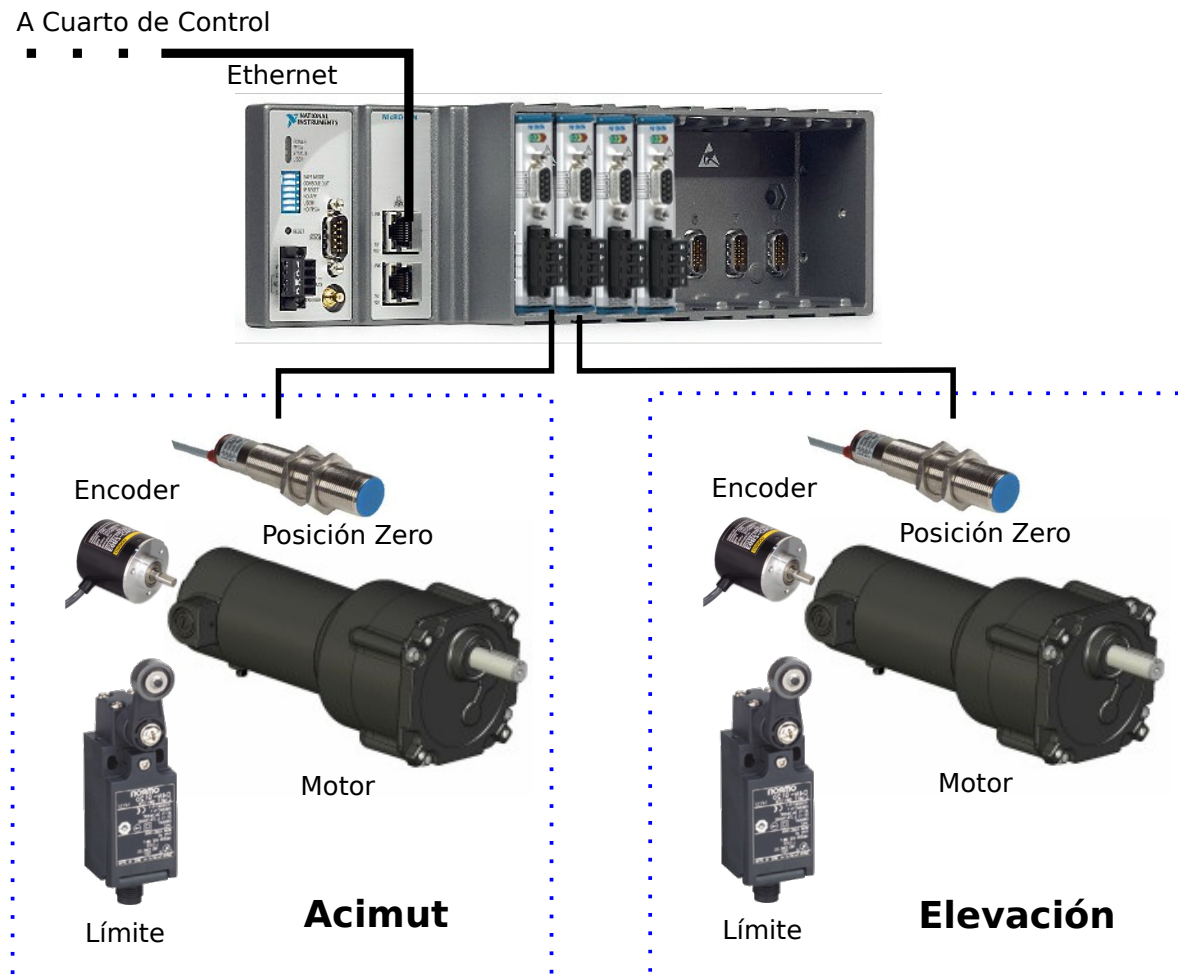


Figura 3: Diagrama a bloques de los Elementos de Control un solo Helióstat

En el campo de helióstatos se encuentran distribuidos los cRIOS en base a una estrategia “espina de pescado”, para tener un diagrama eléctrico que resulte práctico en la solución de fallas que se puedan presentar. La figura 4 muestra el diseño del cableado y los nodos de control para cada cluster de tres helióstatos.

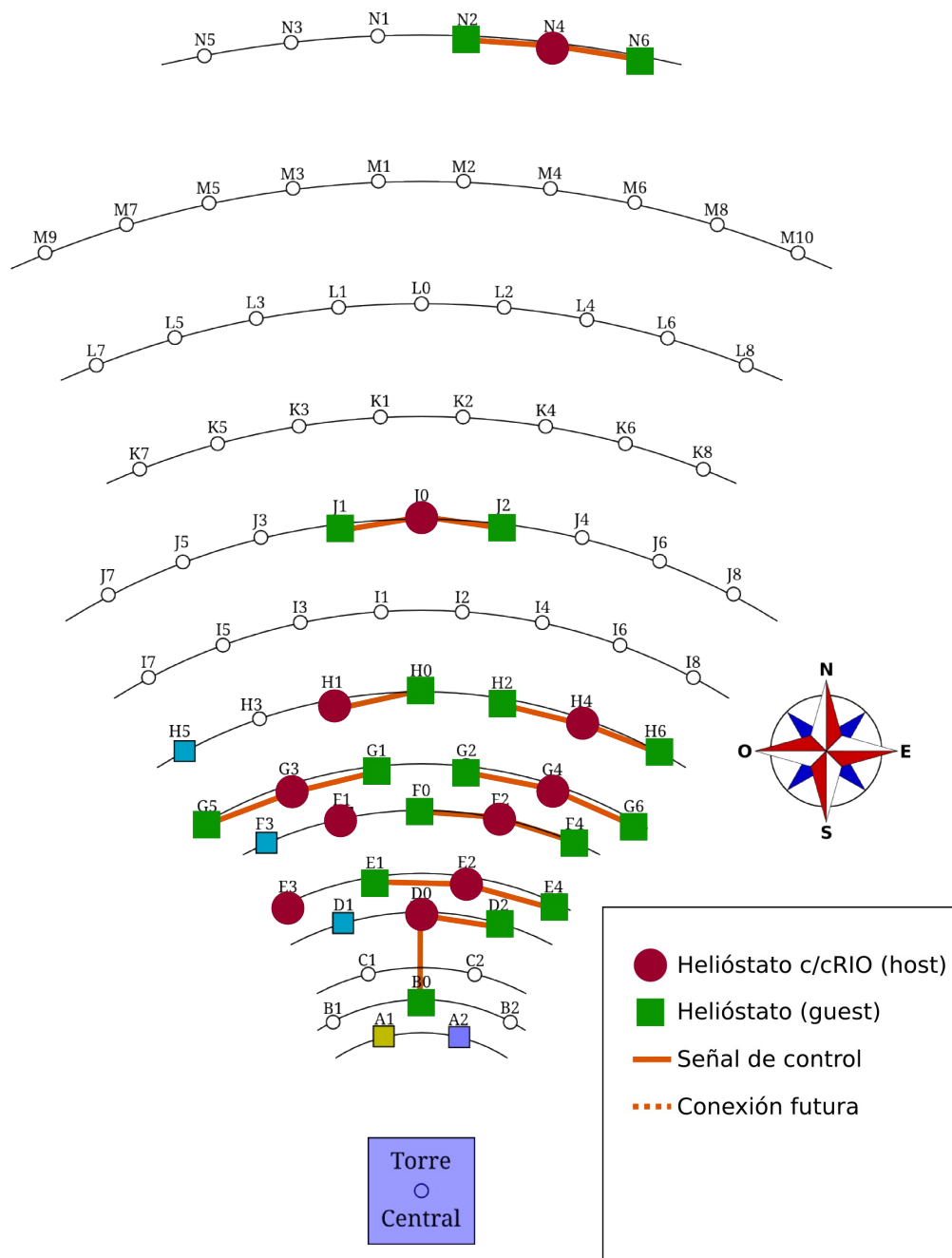
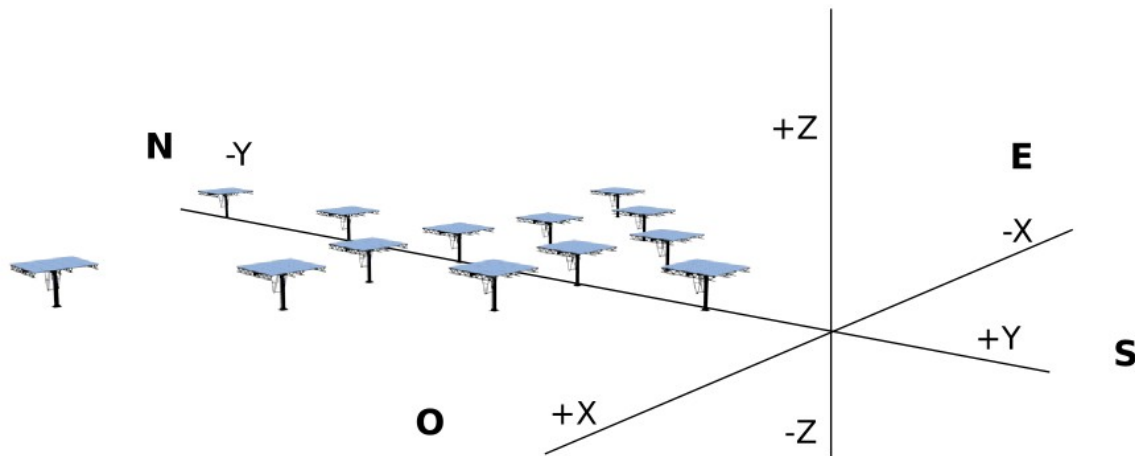


Figura 4: Diseño de control de Campo de Helióstatos

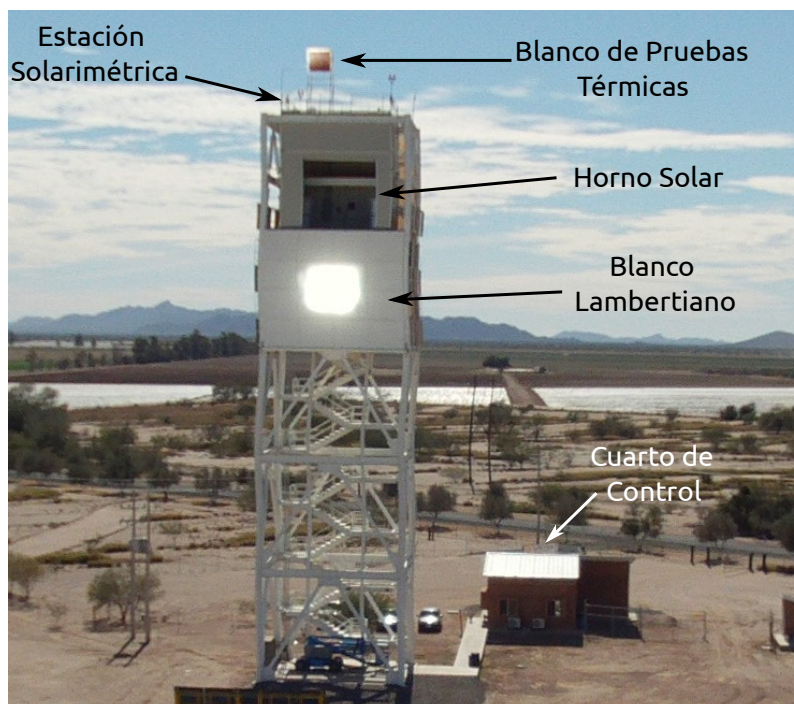
## Eje de coordenadas del Campo

Para poder definir la posición de cada uno de los helióstatos se generó los ejes de coordenadas cartesianas tridimensionales de la forma como lo muestra la figura 5.



*Figura 5: Ejes de coordenadas en Campo de Heliostatos*

Este eje 3d tiene su punto de origen en coordenada en (0,0,0) localizada en el centro del blanco lambertiano a una altura aproximada de 24 metros del piso de la torre que se muestra en la figura 6.



*Figura 6: Torre Central*



### Control SCADA

El programa SCADA desarrollado tiene las siguientes funciones:

- Control de usuarios.
- Configuración variables de proceso (coordenadas de helióstatos, coeficientes)
- Monitoreo de variables de control (Posición angular de helióstatos, corrientes consumidas en motores de acimut y elevación).
- Monitores de variables climáticas y solarimétricas.
- Monitoreo y almacenamiento de variables experimentales(Temperaturas, Concentración Solar.

La figura 8 muestra el diagrama de flujo general sistema SCADA que se explica paso a paso a continuación:

Primeramente se necesita ingresar la información de configuración del campo que son las coordenadas de los helióstatos(x,y,z) con respecto al centro del blanco lambertiano(0,0,0), fecha y hora(preferentemente sincronizadas con un sistema servidor primario, en CPH lo sincronizamos con CENAM).

Lo primero que hace el sistema una vez inicializado es monitorear la velocidad del viento para saber si es permisible la operación de los helióstatos.

Se procede a seleccionar los helióstatos para el experimento de ese día.

Se inicia la corrida y se configuran los helióstatos seleccionados a modo automático.

Se inicializan las variables de velocidad de motores al 100% y las coordenadas objetivo del blanco lambertiano (0,0,0).

Basicamente esas son las variables que requieren los sistemas remotos para operar:

Cuando los sistemas remotos detectan que las variables de modo de operación de los helióstatos esta en automático inician la siguiente secuencia:

Con la fecha y hora del sistema se calcula el vector solar en base al método de Grena.

Con las coordenadas objetivo y el vector solar se calcula la posición angular objetivo del helióstato(n).

## Sistema de Control de Campo Experimental de Torre Central (CEToC)

---

Con la posición angular objetivo y la posición actual se calcula la velocidad y el sentido de giro de los motores de acimut y elevación.

Cuando la diferencia de *posición actual* y *posición objetivo* es menor a 0.001 grados de arco, la velocidad se reduce a cero.

Las variables de *Posición actual*, *Posición Objetivo*, *Corrientes de acimut* y *elevación* se graban en variables compartidas en el sistema central SCADA.

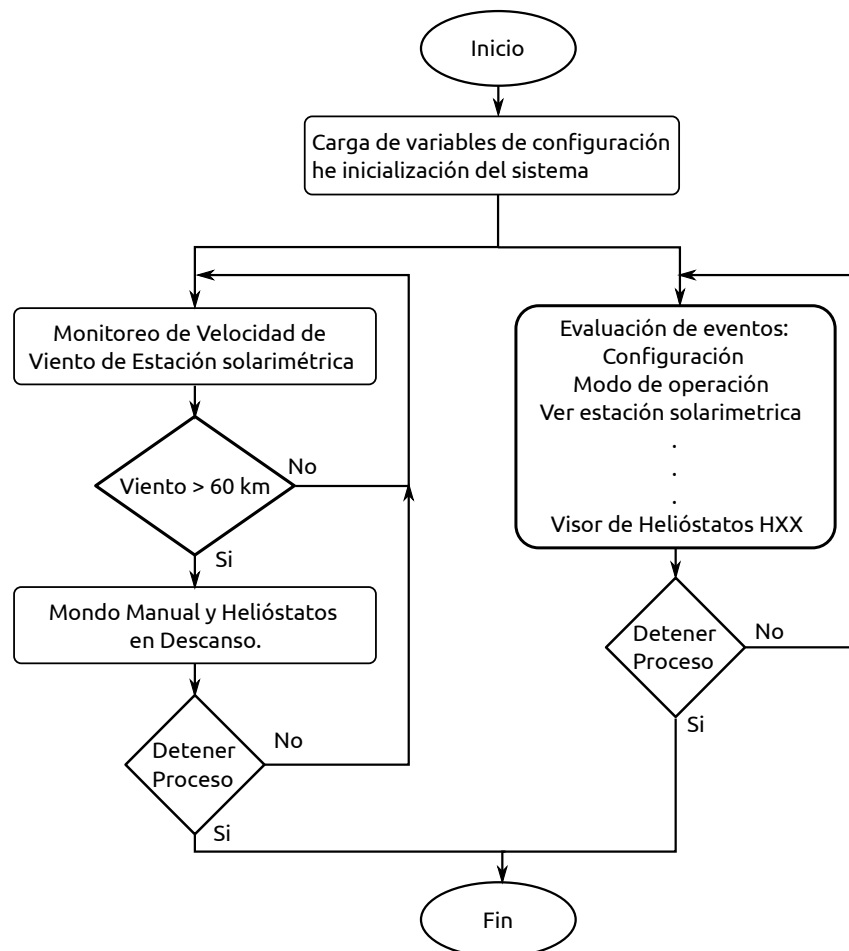


Figura 7: Diagrama de flujo SCADA

*Tabla 1: Eventos*

| Evento                              | Descripción                                                                                               |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| configuracion                       | Configuración de la corrida actual (hora de inicio y fin, archivos y selección de helióstatos a trabajar) |
| Modo seguro                         | Comando para colocar todos los Helióstatos en modo seguro (Descanso)                                      |
| Paro                                | Paro de Emergencia, detiene la corrida actual de forma abrupta                                            |
| Estacion Met                        | Abre la pantalla de Estación Solarimetrica                                                                |
| Iniciar                             | Inicia la corrida                                                                                         |
| Terminar                            | Detiene corrida actual                                                                                    |
| Cambiar objetivo                    | Selecciona de un objetivo general para todos los helióstatos                                              |
| Panel de control                    | Pantalla de ingreso y visualización de datos de configuración                                             |
| Cerrar                              | Cierra el sistema por completo                                                                            |
| Helióstatos 01...<br>Helióstatos 45 | Abre la ventana para monitorear las variables de cada helióstato                                          |

### Operación

El sistema principal cuenta con pantalla lateral izquierda con las opciones principales del sistema, en la figura 8 se muestra el diseño final de esta pantalla, en modo operación, lado derecho y parte del centro tenemos la pantalla de monitoreo del campo completo, donde se muestra en tiempo real el modo operación de cada heliostato así como su estatus, estado habilitado y en alarma si ha sido activado los interruptores de límite o paro de emergencia.

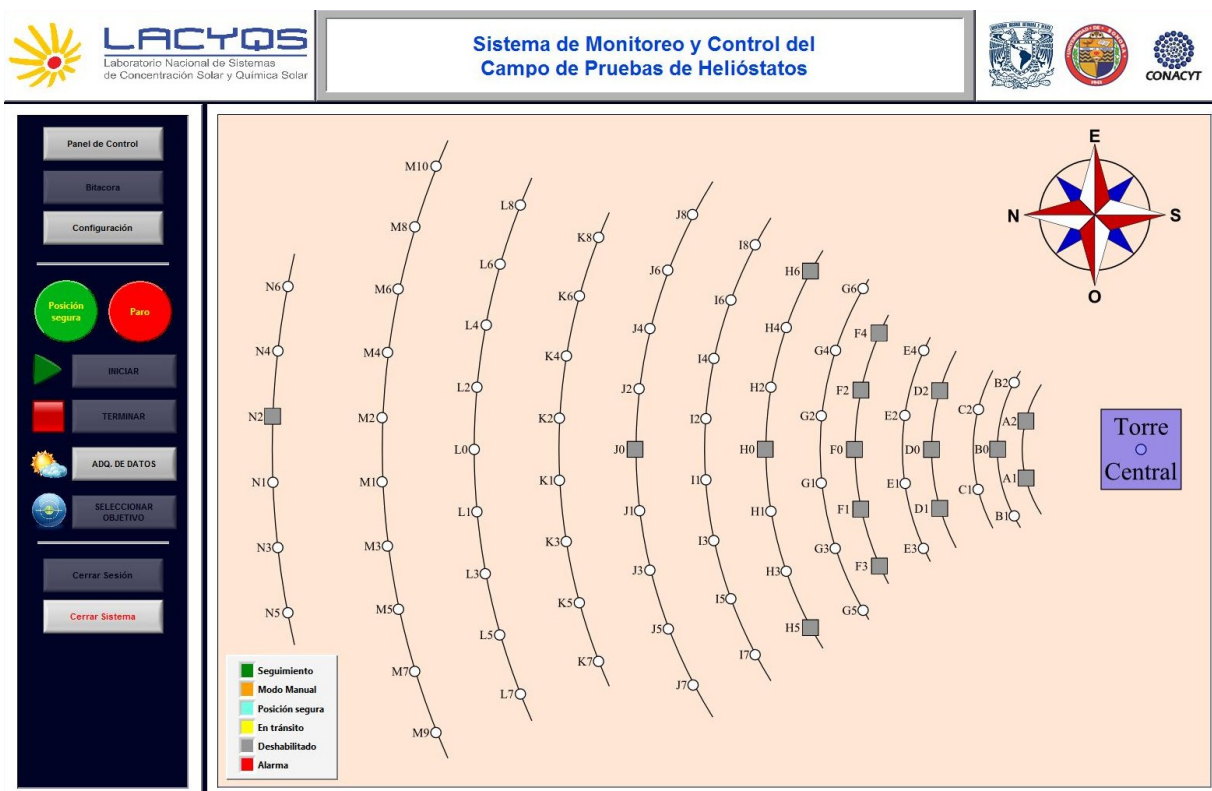


Figura 8: SCADA principal en operación

La configuración del sistema corre a cargo del instrumento virtual “Panel de Control”, que se encarga de tener los controles de entrada de datos y el almacenamiento de información en un archivo, denominado “helios.dat”.

**LACYQS**  
Laboratorio Nacional de Sistemas  
de Concentración Solar y Química Solar

**Panel de Control**

**Configuración General** **Coordenadas Base de Helióstatos**

**Heliostato**  
**H-10**

**Coordenadas**

|   |       |    |
|---|-------|----|
| x | 7     | cm |
| y | -4971 | cm |
| z | -1748 | cm |

**Offset**

|   |     |    |
|---|-----|----|
| x | 12  | cm |
| y | 0   | cm |
| z | 558 | cm |

**Calibración Zero Pos**

|           |   |        |
|-----------|---|--------|
| Azimuth   | 0 | Grados |
| Elevation | 0 | Grados |

**Coefficientes Deriva**

| X         |         |          |         |
|-----------|---------|----------|---------|
| C3        | C2      | C1       | C0      |
| -0.450381 | 16.5375 | -220.005 | 1069.38 |
| Z         |         |          |         |
| C3        | C2      | C1       | C0      |
| -0.388552 | 8.63932 | -24.4834 | 269.632 |

**Cerrar**

Figura 9: Panel de Control

Para correr un experimento es necesario llenar el formulario del instrumento virtual “Configuración”, con esta información se identifican los datos almacenado en el sistema por la corrida. Otra característica importante de esta pantalla es la de selección de helióstatos para operación en el experimento, la selección se realiza de forma gráfica como se muestra en la figura 11.

Configuración CPH.vi

**LACYQS**  
Laboratorio Nacional de Sistemas  
de Concentración Solar y Química Solar

**Configuración DE PRUEBA**

Nombre de la prueba: Calibración de Helióstatos H04,H09,H10

Archivo de datos: CalCPH1.dat

Descripción: Calibración de deriva del modulo CPH1, para el mes de Septiembre

Medio Día Solar: 12:08:13

Hora de anochecer: 17:30:58

Hora de finalización: 15:30:00

Selección de heliostatos...

Confirmar Configuración Cancelar

*Figura 10: Instrumento virtual "Configuracion"*

Una vez que se configura el experimento con las opciones deseadas y se da inicio al mismo, es posible consultar las variables de proceso de cada uno de los heliostatos realizando la selección del heliostato deseado en la pantalla principal de operación, con lo que se mostrará el instrumento virtual “Control de heliostato”. La figura 12 muestra el ordenamiento de la información, en este instrumento, también es posible modificar las velocidades absolutas de los motores de acimut y elevación de heliostato seleccionado.

## Sistema de Control de Campo Experimental de Torre Central (CEToC)

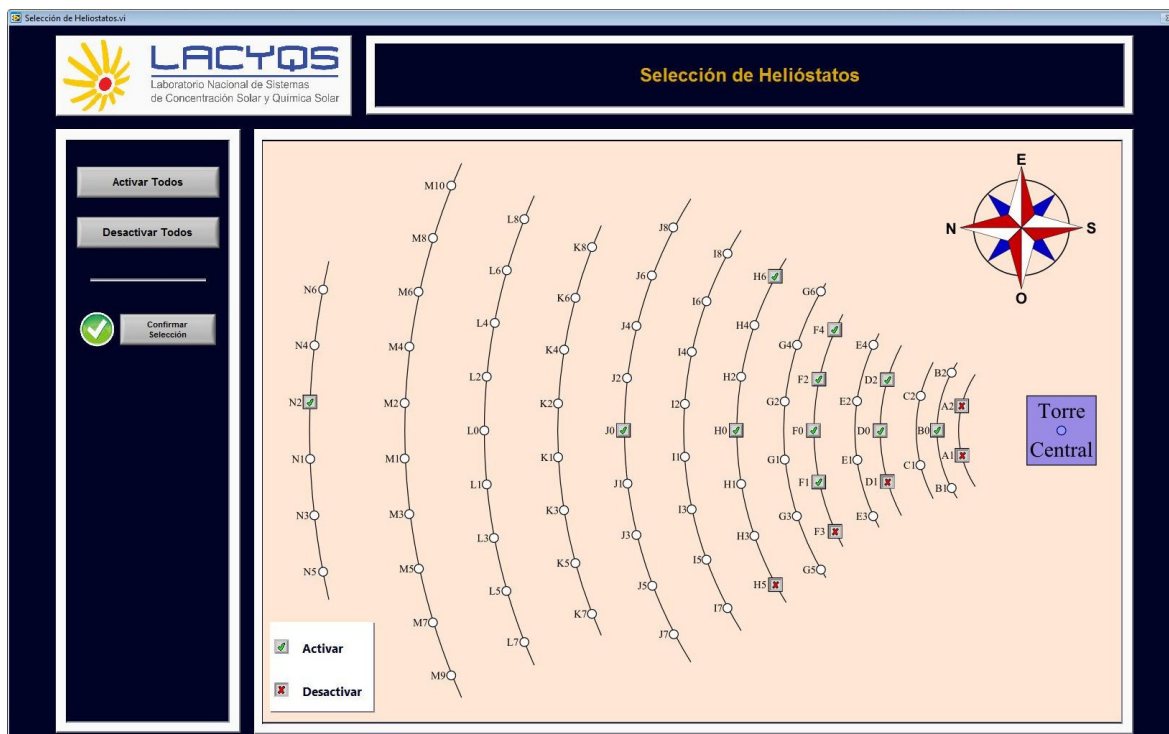


Figura 11: Selección de Helióstatos



Figura 12: Control de Heliostato(tiempo real)

El instrumento virtual “objetivos”, nos dá la posibilidad de elegir un objetivo específico para cada heliostato, es decir en lugar de tener un objetivo común, los heliostatos se dividen en varios objetivos, en este caso con se cuenta con 13 objetivos con coordenadas definidas. La figura 13 muestra el instrumento virtual, las casillas en blanco representan los puntos con coordenadas definidas de objetivos, los nueve recuadros centrales representan la pantalla lambertiana, el cuadro arriba de la pantalla representa el objetivo principal que es el horno solar, mientras que el recuadro superior representa el Blanco de Pruebas que tiene las siguientes funciones:

- Tener un lugar seguro donde hacer pruebas térmicas de concentración de los heliostatos. Sin riesgo para empleados o visitantes.
- Analizar la distribución de temperaturas de los reflejos solares “Spot Solar”.
- Medición indirecta de concentración solar en base a temperaturas.
- Analizar de forma individual y en clusters temperaturas máximas alcanzadas por los heliostatos.



## Sistema de Control de Campo Experimental de Torre Central (CEToC)

---

Por último los recuadros laterales son posiciones estratégicas de operación para la rápida incorporación de helióstatos a las pruebas experimentales en los blancos anteriormente descritos (labertino, horno, pruebas térmicas).

Una característica que garantiza la operación intuitiva de este instrumento es su forma sencilla de cambio de objetivo de forma gráfica, esto se realiza arrastrando la etiqueta del helióstato al objetivo deseado, para que el helióstato cambie su objetivo.



Figura 13: Objetivos Individuales

La pantalla principal indica cuando los helióstatos han alcanzado el objetivo seleccionado mediante un código de colores:

## Sistema de Control de Campo Experimental de Torre Central (CEToC)

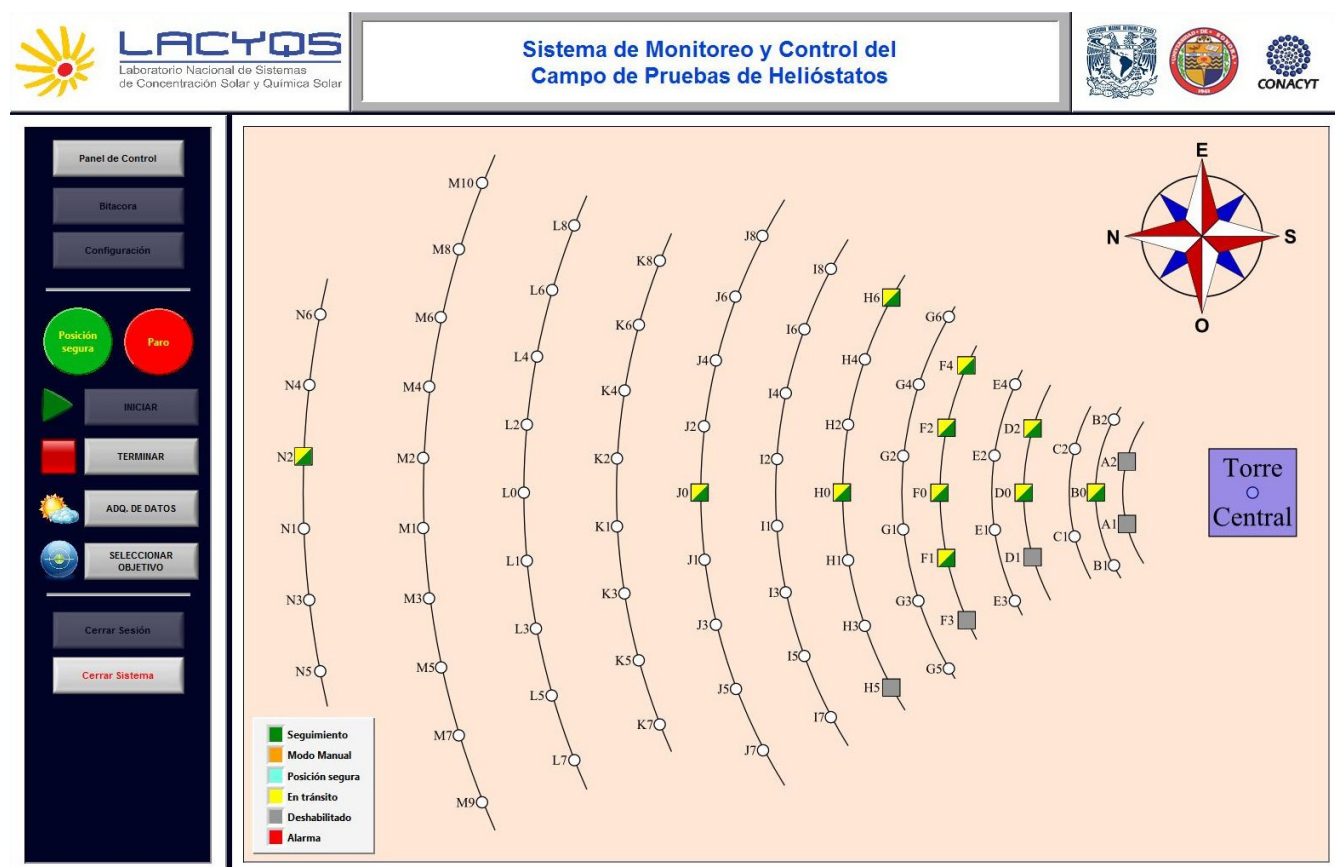


Figura 14: Helióstatos en proceso de alcanzar el objetivo seleccionado

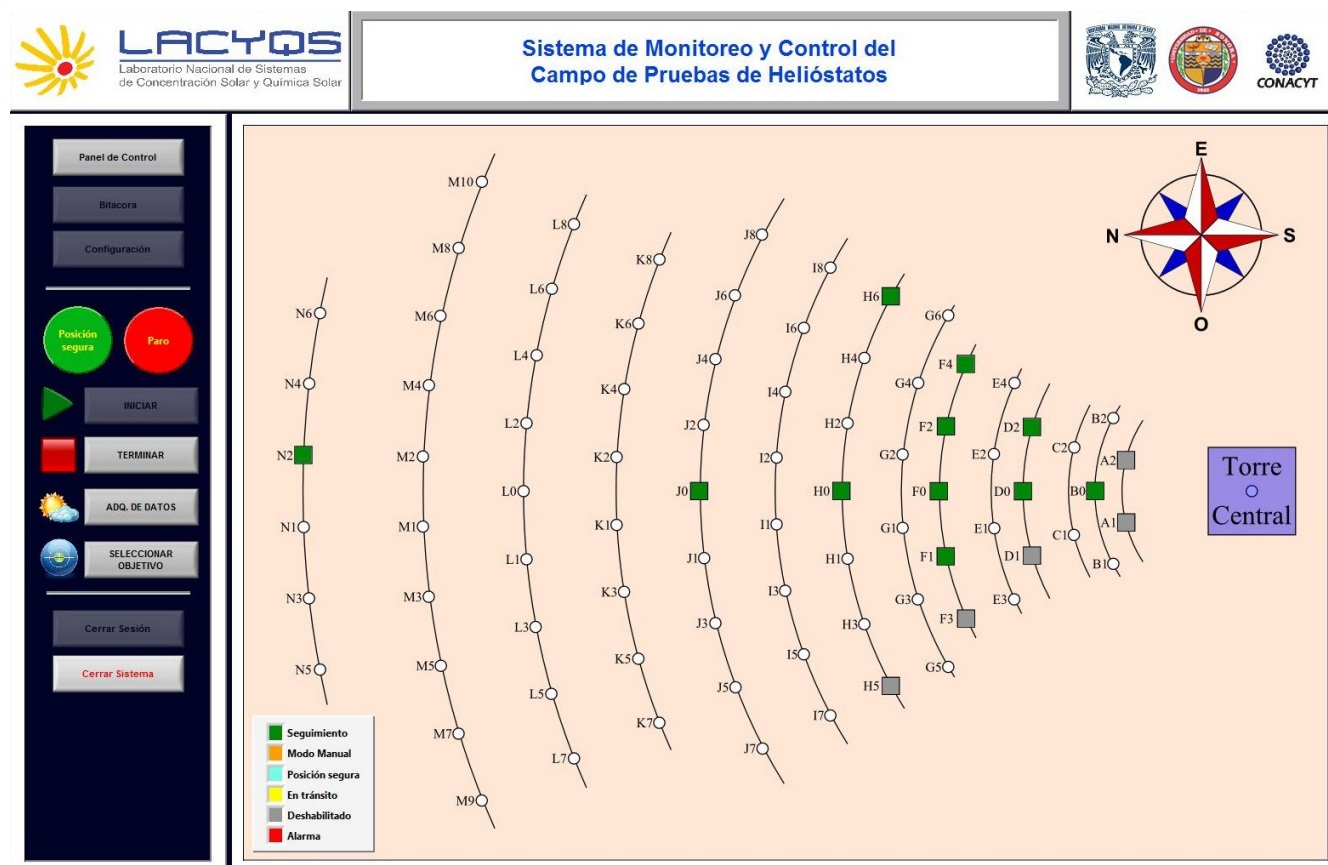


Figura 15: Helióstatos una vez que alcanzaron el objetivo seleccionado

## Referencias:

Marroquín G. David, “Sistema de control para un conjunto de helióstatos”, 2011, Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Energía(CIE), Morelos, México. UNAM, .

Iriarte C. Cuitláhuac., “Automatización de sistema de control para campo de helióstatos”, 2013, Tesis Maestría, Instituto Tecnológico de Chihuahua, Chihuahua, Mexico.