

# Universidad Politécnica del Estado de Morelos



## **Integración de equipos de análisis químico y térmico en la mesa de experimentación del Horno Solar de Altos Flujos Radiativos.**

T E S I N A

Que para obtener el título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presenta

BRENDA VALERIA BOCANEGRA ZAGAL

Directores de Tesina

M. en C. Josué Darío Constantino Bernal

Dr. Carlos Alberto Pérez Rábago

## Contenido

Agradecimientos.....	iii
Resumen .....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Abreviaturas .....	viii
<b>1 Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Energía Solar y su aprovechamiento.....</b>	<b>10</b>
1.1.1 Horno Solar de Altos Flujos Radiativos. ....	15
<b>1.2 Antecedentes de la Organización .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Objetivo.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.7 Alcances y Limitaciones.....</b>	<b>17</b>
<b>1.8 Metodología de la solución .....</b>	<b>18</b>
<b>1.9 Organización de la Tesina.....</b>	<b>19</b>
<b>2 Marco Teórico.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Descripción del Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER). ....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Sistema de Control SCADA.....</b>	<b>24</b>
2.2.1 El sistema de control del HoSIER .....	25
<b>2.2 LabVIEW .....</b>	<b>26</b>
2.2.1 LabVIEW FPGA.....	26
2.2.2 LabVIEW Real Time .....	27
<b>2.3 Normas de instrumentación.....</b>	<b>27</b>
<b>3 Diseño de la solución .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Equipo de Instrumentación .....</b>	<b>29</b>
3.1.1 Electroválvulas.....	29
3.1.2 Válvulas antiretorno.....	29
3.1.3 Compact RIO .....	30
3.1.4 Módulo NI 9421.....	31
3.1.5 Módulo NI 9203.....	31
3.1.6 Módulo NI 9265.....	32
3.1.7 Convertidor Serial-Ethernet.....	33
3.1.8 Controlador -Mezclador de Evaporación (CEM). ....	33
3.1.9 Caudalímetro Digital.....	35
3.1.10 Analizadores Químicos.....	37
<b>3.2 Diagramas de Diseño .....</b>	<b>39</b>

<b>4</b>	<b>Comprobación de la Solución .....</b>	<b>46</b>
4.1	<b>Finales de carrera en mesa de experimentación del HoSIER .....</b>	<b>46</b>
4.2	<b>Sistema de Alimentación de Gases .....</b>	<b>50</b>
4.3	<b>Sistema de Análisis de Gases.....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>60</b>
5.1	<b>Trabajos Futuros .....</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografía: .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>63</b>
		<b>7.1 63</b>
7.2	<b>Anexo A: Diagramas de conexión .....</b>	<b>63</b>
		<b>7.3 65</b>
		<b>7.4 ¡Error! Marcador no definido.</b>
		<b>7.5 ¡Error! Marcador no definido.</b>
		<b>7.6 ¡Error! Marcador no definido.</b>
		<b>7.7 ¡Error! Marcador no definido.</b>
7.8	<b>Anexo B: Diagramas VI LabVIEW .....</b>	<b>65</b>

## Agradecimientos

## Resumen

El Horno solar de altos flujos radiativos (HoSIER) es una instalación del Laboratorio Nacional de Sistemas de Concentración y Qímica Solar (LACYQS). El HoSIER tuvo una primera etapa donde se construyeron las principales estructuras para poder concentrar energía solar, estas estructuras son un helióstato de 36 m<sup>2</sup>, un atenuador de 42.2 m<sup>2</sup> y 211 espejos hexagonales de vidrio pulido, con cinco radios de curvatura distintas, los cuales se encuentran soportados en una estructura paraboloidal, los cuales conforman el concentrador. Posteriormente se hizo un helióstato plano de mayor tamaño (81 m<sup>2</sup>), así como se agregaron más espejos hexagonales al concentrador para completar 409 y componentes periféricos como la mesa de experimentación y un sistema de refrigeración los cuales son controlados y monitoreados mediante un sistema SCADA.

Para la segunda etapa se pretende desarrollar experimentación con reactores termoquímicos y fotoquímicos, además de realizar estudios térmicos destructivos de materiales y para ello es necesario equipar a la mesa de experimentación con sistemas de alimentación de gases, sistemas de análisis de gases y equipos de medición de temperatura de no contacto.

Los sistemas de alimentación y análisis de gases son parte fundamental para la experimentación en reactores termoquímicos ya que al realizar ciclos termoquímicos basados en óxidos metálicos permiten la obtención de hidrogeno mediante la ruptura de la molécula de vapor de agua. Esto sucede mediante la reducción térmica de un óxido metálico con energía solar altamente concentrada obteniendo así la liberación de oxígeno. La reducción reacciona con agua y de esta forma se libera hidrógeno y se recupera el óxido de partida.

Los sistemas de alimentación y análisis de gases se diseñaron en base a los requerimientos de algunos experimentos termoquímicos, además de que ya se tenía algunos de los componentes fue necesario agregar al diseño instrumentación electrónica para crear un sistema de alimentación y análisis de gases automatizado.

Para los dispositivos de los subsistemas de alimentación y análisis de gases es necesario controlar y monitorear su comportamiento durante los experimentos. Para ello se utilizó

programación en el entorno de LabVIEW además se utilizaron módulos para Compact RIO de National Instruments para realizar pruebas y adquisición de los datos entregados por los analizadores químicos.

## Lista de Figuras

<i>Figura 1.1. Paneles Fotovoltaicos.....</i>	12
<i>Figura 1.2. Sistemas de concentración solar.....</i>	14
<i>Figura 1.3. Diagrama de la metodología a seguir para realizar el proyecto.....</i>	19
<i>Figura 2.1. Diagrama a bloques de un Horno solar de altos flujos radiativos.....</i>	21
<i>Figura 2.2. Estructura del Horno solar de altos flujos radiativos (HoSIER).....</i>	22
<i>Figura 2.3. Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER).....</i>	24
<i>Figura 2.4. Arquitectura básica de un sistema SCADA.....</i>	25
<i>Figura 2.5. Simbología a emplear en los planos y dibujos de representación de instrumentos.....</i>	28
<i>Figura 3.1. Tipos de Electroválvulas.....</i>	29
<i>Figura 3.2. Esquema plano de válvula antiretorno.....</i>	30
<i>Figura 3.3. Chassis CompactRIO.....</i>	30
<i>Figura 3.4. Módulo NI 9421.....</i>	31
<i>Figura 3.5. Módulo NI 9203.....</i>	32
<i>Figura 3.6. Módulo NI 9265.....</i>	32
<i>Figura 3.7. Convertidor.Serial-Ethernet.....</i>	33
<i>Figura 3.8. Controlador -Mezclador de Evaporación (CEM).....</i>	34
<i>Figura 3.9. Caudalímetro Digital para Gas.....</i>	36
<i>Figura 3.10. Analizador de gas Calomat 6.....</i>	38
<i>Figura 3.11. Analizador de gas Ultramat 23.....</i>	39
<i>Figura 3.12. Diagrama a bloques de sistema de gases.....</i>	40
<i>Figura 3.13. Diagrama de conexión del Sistema de Alimentación de Gases (SAG).....</i>	41
<i>Figura 3.14. Diagrama de conexión de subsistema de mezcla de vapor de agua y gas inerte.....</i>	42
<i>Figura 3.15. Diagrama de conexión del Sistema de Análisis de Gases.....</i>	42
<i>Figura 3.16. Diagrama de Conexión del Sistema de Gases.....</i>	43
<i>Figura 3.17. Ensemble de rack para montaje del sistema CEM. . ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Figura 3.18. Diseño de montaje para el sistema CEM en rack.....</i>	44
<i>Figura 3.19. Panel para subsistema de gases, 90 x 90 cm.....</i>	45
<i>Figura 3.20. Base para acondicionador de muestras y analizadores químicos 70 x 44 x 32.5 cm.....</i>	45
<i>Figura 4.1. Interfaz gráfica del sistema de control de las posiciones en la mesa de experimentación..... ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Figura 4.2. Instrumentación electrónica de final de carrera z en mesa de experimentación.....</i>	47
<i>Figura 4.3. Diagrama de flujo de datos en labVIEW.....</i>	48
<i>Figura 4.4. Diagrama de flujo del programa de finales de carrera.....</i>	49
<i>Figura 4.5. Conexión electrónica de caudalímetro de Nitrógeno.....</i>	51
<i>Figura 4.6. Conexión de caudalímetro de gas a.....</i>	52
<i>Figura 4.7. Interfaz de control de caudalímetros.....</i>	53
<i>Figura 4.8. Gráfica en tiempo real de flujo de gas Nitrógeno.....</i>	54
<i>Figura 4.9. Analizador Ultramat 23 operando.....</i>	55
<i>Figura 4.10. Asignación de IP para el cliente Telnet.....</i>	56
<i>Figura 4.11. Interfaz Ultramat 23.....</i>	57



## Lista de Abreviaturas



## 1 Introducción

El desarrollo de un país está fuertemente ligado a su capacidad de administrar y utilizar los recursos naturales que posee para satisfacer sus requerimientos energéticos y un ejemplo de ello es el progreso industrial y tecnológico que ha tenido la humanidad durante los últimos dos siglos gracias, en gran medida, al aprovechamiento de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y principalmente, el petróleo. Este hidrocarburo es utilizado para un sinnúmero de actividades de entre las cuales podemos mencionar su uso como energético para transporte, calefacción y producción de electricidad; en la industria para la producción de derivados como plásticos, aceites, fibras sintéticas, etc.; en medicina para la fabricación de prótesis e implantes; en construcción para carreteras, pavimento, pinturas, entre otras. Sin embargo, la sobreexplotación de estos hidrocarburos se ha convertido en uno de los principales responsables de las emanaciones de CO<sub>2</sub> en el planeta, contribuyendo en gran medida al calentamiento global y al cambio climático.

Por todo lo anterior, es de vital importancia la utilización más racional de la energía y la sustitución de los combustibles fósiles por otros tipos de energía. Las fuentes de energía renovable son aquellas que por su cantidad en relación a los consumos que los seres humanos pueden hacer de ella son inagotables y su propio consumo no afecta el medio ambiente. Ellas son la energía solar, la eólica, la biomasa, la geotérmica, las centrales hidroeléctricas y la oceánica. En México se cuenta con un potencial de energías renovables realmente enorme y después del solar, el eólico y la biomasa son los recursos que se consideran más abundantes en el país.

Dada la posición geográfica privilegiada de nuestro país en el hemisferio norte entre las latitudes 14° 32' y 32° 43', que incluye a la línea del trópico de cáncer, su recurso solar es vasto ya que en promedio cuenta con 5 KWh/m<sup>2</sup>/día [Galindo *et al.*, 1991], mostrando un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar en comparación con otros países con menos insolación.

### 1.1 Energía Solar y su aprovechamiento

Una gran parte de esta energía llega a la tierra en forma de radiación electromagnética comprendida en un gran espectro de frecuencia generando energía solar, la cual está formada básicamente por luz y calor. Lo que permite que este tipo de energía se vuelva una nueva alternativa viable.

El sol es la fuente de energía que mantiene vivo al planeta Tierra. Emite continuamente una potencia de 62 mil 600 kW/m<sup>2</sup> de su superficie. Esto ha venido ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años y se estima que continuará así por otros 5 mil millones de años, lo cual en términos de la existencia que ha tenido la humanidad es prácticamente ilimitado. De hecho en un periodo de tan solo dos días el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón [Arancibia-Bulnes et al., 2010].

En contraste con fuentes de energía no renovables, la energía solar se recibe de manera natural en todo el globo terráqueo, y su utilización no implica destrucción del entorno. Existen diferentes tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, algunas de ellas muy maduras otras que siguen siendo temas de investigación y que podrían tener impactos importantes en el futuro. Las tecnologías que actualmente aprovecha la energía solar pueden clasificarse en dos grandes tecnologías; fotovoltaicas y fototérmicas.

La transformación de la energía solar con sistemas fotovoltaicos, los cuales consisten en la transformación directa de la energía solar a energía eléctrica mediante dispositivos optoelectrónicos constituidos por semiconductores denominados celdas solares. Fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmon Bequerel. A pesar de este temprano descubrimiento no fue hasta la década de los años cincuenta del siglo XX que se encontró un material que presentaba el efecto fotovoltaico de manera eficiente, el silicio.

Debido a que la potencia que genera una celda solar es pequeña estas se conectan entre sí en paralelo o serie para aumentar la corriente o la tensión respectivamente. A un conjunto de varias celdas conectadas entre sí se le llama panel o modulo fotovoltaico (ver figura 1.1), Usando módulos fotovoltaicos respaldados con baterías es posible dar energía a una gran variedad de aplicaciones aisladas, como telefonía rural, antenas de telecomunicaciones, estaciones meteorológicas remotas, señalización en carreteras y otras.



*Figura 1.1. Paneles Fotovoltaicos.*

En contraparte la energía solar térmica consiste en la captación de calor de las radiaciones solares para calentar algún fluido, que posteriormente, alcanza ciertos valores de temperatura que pueden utilizarse para calentar agua, la máxima temperatura que se puede alcanzarse sin concentración es de  $100^{\circ}\text{C}$ . Si se requiere calentar a mayores temperaturas se utilizan sistemas de concentración. Los sistemas de concentración se pueden clasificar en cuatro tipos de tecnologías:

#### Concentradores cilindro-parabólicos

En esta tecnología se tienen espejos captadores los cuales tienen forma de un cilindro - parabólico ver Figura 1.2 a), y su funcionamiento es el seguimiento solar y la concentración de los rayos solares en tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal de los cilindros - parabólico. El tubo receptor absorbe la radiación, la cual transfiere al fluido de trabajo que se calienta hasta alcanzar una temperatura superior a  $250^{\circ}\text{C}$ . Este fluido de trabajo es bombeado a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor sobrecalentado. El calor presente en este vapor se convierte en energía eléctrica en una turbina de vapor convencional. A esta tecnología cilindro-parabólica se le puede incorporar el almacenamiento de energía. A partir de este almacenamiento el sistema puede proporcionar energía también en condiciones de nubosidad o de noche.

## Sistemas de torre central

En los sistemas de torre, un campo de helióstatos o espejos móviles, que se orientan según la posición del sol, reflejan la radiación para concentrarla hasta 600 veces sobre un receptor que se sitúa en la parte superior de una torre ver Figura 1.2. Este calor se transmite a un fluido con el objetivo de generar vapor que se expande en una turbina acoplada a un generador para la producción de electricidad. Las altas temperaturas (superiores a 1.000°C) que se pueden alcanzar con esta tecnología permiten aspirar a elevados rendimientos en la generación de electricidad.

El funcionamiento de la tecnología de torre se basa en cinco elementos característicos:

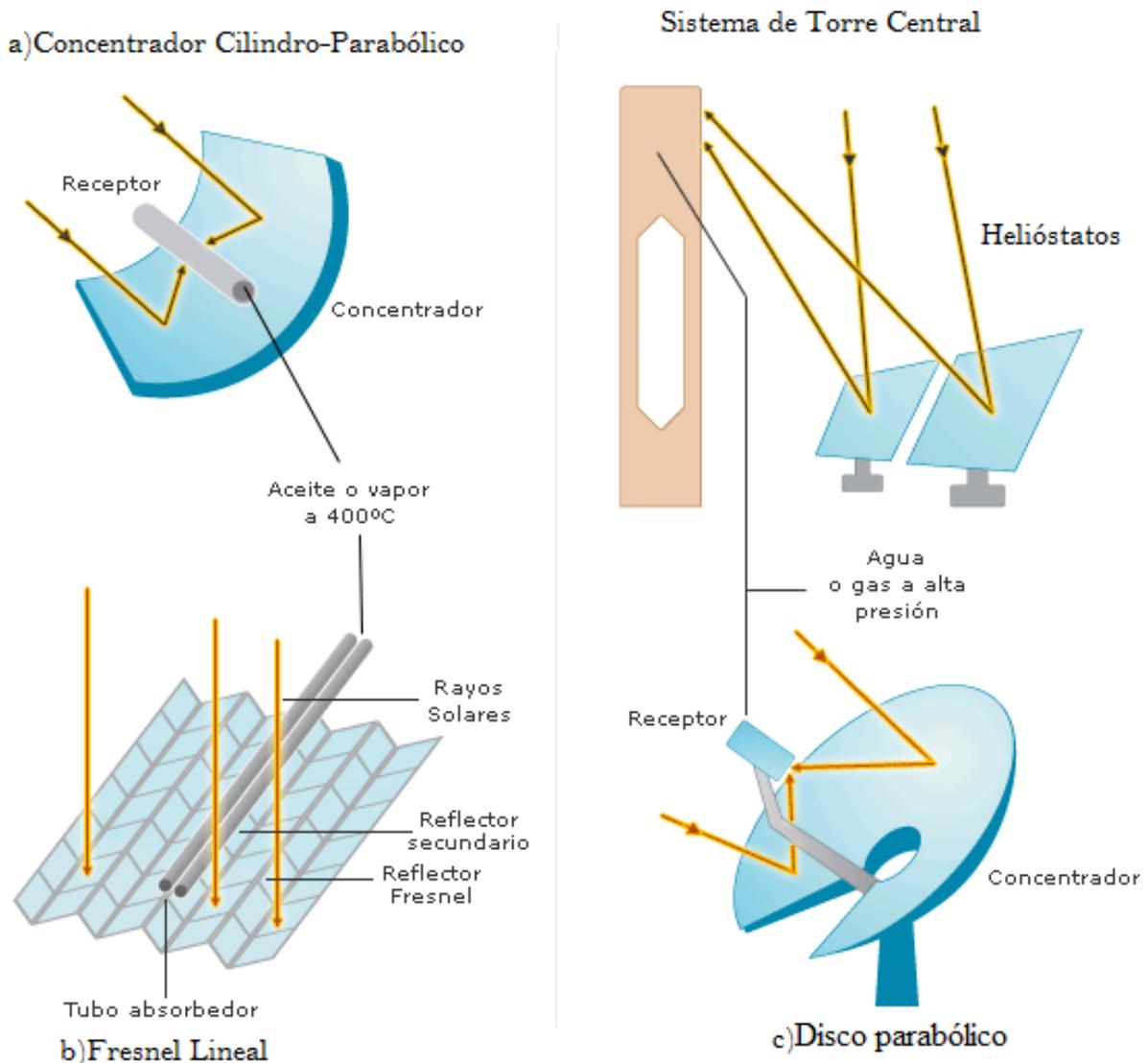
- Los helióstatos tienen la función de captar la radiación solar y dirigirla hacia el receptor.
- El receptor transfiere el calor recibido a un flujo de trabajo, que puede ser agua, sales fundidas, etc. Este fluido es el encargado de transmitir el calor a la otra parte de la central termosolar, generalmente a un depósito de agua, obteniéndose vapor a alta temperatura para producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina.
- La torre sirve de soporte al receptor, que se sitúa a cierta altura sobre el nivel de los helióstatos con el fin de evitar, o al menos reducir, las sombras y los bloqueos.
- Sistema de almacenamiento
- Etapa de potencia

## Discos parabólicos

Es una tecnología en concentración de la radiación solar incidente en un disco parabólico, sobre un receptor colocado en su foco y un dispositivo que transforma la energía térmica absorbida por el receptor en trabajo mecánico, que habitualmente es un motor Stirling, el cual se acopla a un generador eléctrico ver Figura 1.2 c). El motor Stirling consta de dos cilindros, uno en el foco frío y el otro en el caliente, unidos por un conducto. El gas de trabajo se mueve entre el cilindro caliente, que es el que recibe la radiación, y el cilindro frío por medio de un juego de pistones y bielas unidas a un volante común. Se trata de un motor de baja densidad energética por lo que las potencias que se alcanzan son relativamente pequeñas, hasta 100 kW para un disco de 8 m de diámetro [Caño, 2009]

## Fresnel lineal

Este tipo de concentrador se caracteriza por la sencillez constructiva en relación a las otras tecnologías. Los concentradores también son cilíndrico-parabólicos ver Figura 1.2 b), pero de muy baja curvatura. Se instalan a nivel del piso y siguen la trayectoria aparente del sol girando alrededor de ejes axiales horizontales. Los espejos concentran la radiación solar directa en un absorbedor que se encuentra fijo a algunos metros de altura. Este consiste en una torre lineal con la cavidad en su cara inferior.



*Figura 1.2. Sistemas de concentración solar.*

### **1.1.1 Horno Solar de Altos Flujos Radiativos.**

Una de las aplicaciones que actualmente está en uso, es el horno solar de altos flujos radiativos los cuales son muy importantes en el campo de la energía solar, por ejemplo en la producción sustentable de combustibles como el hidrogeno.

Un horno solar es una estructura que utiliza la energía solar concentrada para producir altas temperaturas, por lo general para la industria. Espejos parabólicos o helióstatos concentran la luz en un punto focal. La temperatura en el punto focal puede llegar a 3,500°C. El calor generado se puede utilizar para procesar una variedad de materiales, para generar electricidad, fundir acero o generar hidrogeno. De esta forma se obtiene una alternativa limpia con respecto a los hornos convencionales que queman combustibles fósiles.

## **1.2 Antecedentes de la Organización**

En la misión del IER (Instituto de Energías Renovables) de la UNAM se establece que el objetivo principal de dicha organización es el realizar investigación básica y aplicada, y desarrollo tecnológico en cuestiones de generación, conversión, almacenamiento y utilización de la energía enfocada principalmente a las fuentes renovables. Formar estudiantes de posgrado y licenciatura a través de cursos y tesis o tesinas así como difundir los conocimientos que se adquieren en el área para alcanzar el desarrollo sustentable del país. Por otra parte, el IER es sede del Laboratorio Nacional de Infraestructura en Sistemas de Concentración Solar y Química Solar (LACYQS). El propósito de dicho laboratorio, es constituir una red de grupos de investigación que, a través del diseño, construcción y operación de tres instalaciones solares, avance en el desarrollo de dichas tecnologías en México, generando conocimiento científico y tecnológico, así como formando recursos humanos de alto nivel en el área. A saber, estas tres instalaciones solares son: un Horno Solar de Alto Flujo Radiativo (HoSIER), una Planta Solar Piloto para el Tratamiento Fotocatalítico de Aguas Residuales (PSTFAR) y un Campo de Pruebas para Helióstatos (CPH). (IER-UNAM)

El HoSIER es un instrumento que usa la energía solar concentrada tanto para investigación básica, aplicada y desarrollo tecnológico, como para el estudio de varios procesos industriales y el desarrollo de componentes de tecnologías para la generación termosolar de potencia eléctrica, entre otros. Este

dispositivo busca brindar un laboratorio donde se puedan diseñar, probar, analizar y producir nuevos materiales, sinterizado o degradación de compuestos, combustibles de bajo impacto ambiental (como Hidrógeno), así como, probar y evaluar propiedades de diferentes fluidos de trabajo, dispositivos aplicados a procesos termodinámicos como receptores y reactores fotoquímicos, todos estos sujetos a altos flujos radiativos y/o temperaturas elevadas del orden de 3,400 °C. De esta manera se busca dar servicios a institutos de investigación, universidades y diferentes ramas de la industria tales como la química, la cerámica, la metal-mecánica, de altos hornos, eléctrica (producción de electricidad), entre otras. (LACYQS-IER-UNAM)

### **1.3 Planteamiento del Problema**

A partir del funcionamiento e investigación de diferentes hornos solares de alto flujo radiativo, se ha demostrado que la luz concentrada puede ser utilizada en los procesos de fabricación aeroespacial, automotriz y electrónica entre otras así como también ha demostrado ser eficaz en la descontaminación de desechos peligrosos.

El HoSIER es un instrumento que usa la energía solar concentrada para investigación básica, aplicada y desarrollo tecnológico, así como para el estudio de varios procesos industriales y el desarrollo de componentes de tecnologías para la generación termosolar de potencia eléctrica, como también probar, analizar y producir nuevos materiales, evaluar propiedades de diferentes fluidos de trabajo, diseñar dispositivos aplicados a procesos termodinámicos como receptores y reactores fotoquímicos.

Para realizar la experimentación de procesos termoquímicos en el HoSIER es necesario instrumentar el horno con medidores de flujo y analizadores químicos, entre otros, así como realizar una interfaz para el control de cada uno de los dispositivos.

### **1.4 Objetivo**

Integrar al sistema SCADA una serie de equipos de análisis químico, y un sistema de alimentación de gases, para experimentación termoquímica, empleando radiación solar concentrada.

## 1.5 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica en torno a hornos solares de altos flujos radiativos, dispositivos electrónicos para flujo de gases y analizadores químicos.
- Analizar los componentes y equipo necesario para la instrumentación de mesa de experimentación del horno solar de altos flujos radiativos.
- Integrar a la mesa de experimentación y al sistema SCADA finales de carrera.
- Diseñar el sistema de alimentación y análisis de gases para un reactor termoquímico.
- Diseñar la interfaz para el control de los dispositivos utilizados en los sistemas de gases.
- Validar el correcto funcionamiento de la instrumentación realizada.

## 1.6 Justificación

Para la experimentación de procesos termoquímicos en el HoSIER es necesario integrar al sistema SCADA una serie de dispositivos de análisis químico en línea de O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> además del control de los caudales en los experimentos.

## 1.7 Alcances y Limitaciones

Debido a que el presente trabajo implica la integración de una serie de sistemas y equipos a un sistema de control SCADA, los cuales fueron seleccionados y adquiridos previos a este trabajo es importante establecer las limitaciones del proyecto. Por otra parte, el sistema SCADA se encuentra programado en LabVIEW y con componentes National Instruments. Por lo cual cabe mencionar los alcances del mismo.

### Alcances

- Diseñar el gabinete del sistema de alimentación de gases, así como el control de suministro de los mismos a los experimentos.
- Diseñar el sistema de adquisición de datos de los analizadores.
- Integración de controladores de los dispositivos al sistema SCADA.

## Limitaciones

- Se requiere tener un conocimiento mínimo del entorno de programación en LabVIEW
- El HoSIER no cuenta con documentación detallada del sistema SCADA, por lo que se requiere entender a detalle la operación del control.
- El proceso de recopilación de datos o señales, tanto de los analizadores de gases en línea y el control de suministro de gases, se requiere hacer con los controladores CompactRIO y en el entorno LabVIEW.
- Tiempo de desarrollo del proyecto limitado a cuatro meses.

## 1.8 Metodología de la solución

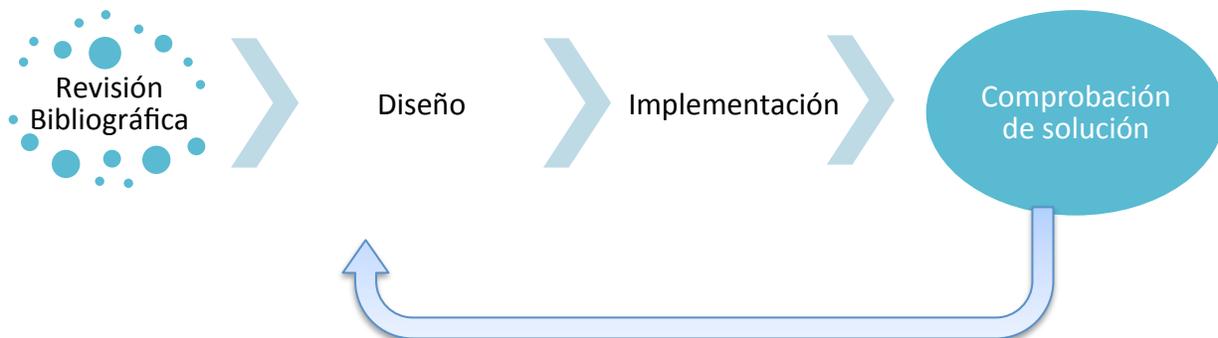
Para cumplir con el objetivo del proyecto en el tiempo, se propone la siguiente metodología

Revisión bibliográfica: En esta etapa se realiza una investigación sobre hornos solares de altos flujos radiativos, analizadores químicos, flujómetros analógicos y CompactRio. Las características y funcionamiento, constituirán los fundamentos teóricos para los objetivos propuestos del proyecto.

Diseño: En esta etapa se estructura y realiza el diseño de los gabinetes del sistema de alimentación y análisis de gases, así como el diagrama de conexión de los sistemas antes mencionados.

Implementación: En esta etapa se lleva a cabo la programación del sistema de alimentación y análisis de gases, Además se realiza la integración de controladores de los dispositivos al sistema SCADA.

Comprobación de solución: En esta etapa se efectúa la validación de la instrumentación y la integración de controladores al sistema SCADA.



*Figura 1.3. Diagrama de la metodología a seguir para realizar el proyecto.*

## **1.9 Organización de la Tesina**

### Capítulo 1. Introducción

Se presenta una introducción general del proyecto, estableciendo el planteamiento del problema, el objetivo, la justificación del proyecto, los alcances y limitaciones así como se plantea la metodología para la realización del proyecto.

### Capítulo 2. Marco Teórico y modelado

En este capítulo se presentan los conceptos y fundamentos teóricos sobre el horno solar de altos flujos radiativos, sistema SCADA, entorno LabVIEW y los dispositivos a integrar a la mesa de experimentación.

### Capítulo 3. Diseño de la solución

En este apartado se presentan las características de los dispositivos que se utilizaran así como diagramas y simulaciones del diseño de las estructuras en donde se ensamblaran los dispositivos.

### Capítulo 4. Pruebas y resultados

En este apartado se presenta el desarrollo de las pruebas realizadas a los sistemas integrados a la mesa de experimentación del horno solar y la programación de los controladores de la instrumentación además de que se analizan los resultados obtenidos.

## Capítulo 5. Conclusiones

Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del proyecto de tesina y los trabajos futuros.

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Descripción del Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER).

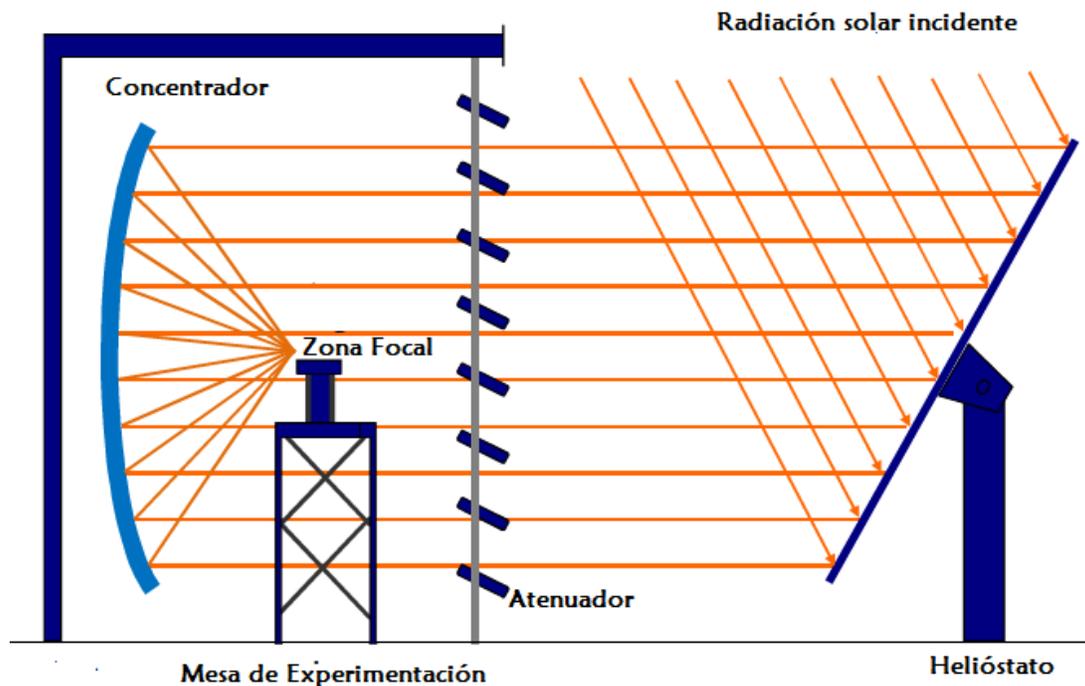
Los Hornos solares pueden variar en sus configuraciones, sin embargo todos ellos convergen esencialmente en tres componentes: un concentrador, un heliostato y un atenuador (ver Figura 2.1)



*Figura 2.1. Diagrama a bloques de un Horno solar de altos flujos radiativos.*

El concentrador está en el corazón del sistema, y su función es la de concentrar la radiación solar a niveles muy altos con el fin de alcanzar temperaturas de hasta  $3.500^{\circ}\text{C}$  en la zona focal. El concentrador en del HoSIER es fijo, todo el movimiento requerido para el seguimiento del sol se lleva a cabo por el heliostato. Esto se hace con el fin de tener una zona focal estática, que a su vez proporciona un entorno controlado para los experimentos. Gran parte de la calidad de rendimiento del HoSIER depende de la capacidad del heliostato plano para el seguimiento del sol con precisión. El atenuador se abre y cierra parcialmente a diferentes grados para proporcionar una forma precisa de controlar la cantidad de radiación que se le permite entrar al habitáculo que contiene al concentrador. En particular, el HoSIER (ver figura 2.2) del IER -UNAM fue diseñado para un heliostato con una superficie de  $81\text{ m}^2$  un atenuador de  $42.2\text{ m}^2$  y un concentrador óptico que consiste en 409 espejos hexagonales de vidrio pulido. En su primera etapa, el HoSIER tenía un heliostato de  $36\text{ m}^2$ , un atenuador de  $42.2\text{ m}^2$  y 211 espejos hexagonales de vidrio pulido como concentrador [Pérez-Rábago C.A. et al., 2010].

Además de los componentes anteriores, hay una plataforma móvil que permite un posicionamiento preciso de los experimentos en diferentes puntos de la región focal. Además, se requiere un sistema de adquisición de datos para el seguimiento de diferentes variables experimentales, tales como la temperatura, el flujo de presión, velocidad de flujo, la radiación solar, la distribución de flujo de radiación concentrada etc. Algunas de estas variables se pueden utilizar en un bucle cerrado para el control del horno, dependiendo la naturaleza de cada experimento. Todos los componentes del horno, a excepción del heliostato y algunos sensores de velocidad de radiación y el viento solar, se encuentran en la carcasa.



*Figura 2.2. Estructura del Horno solar de altos flujos radiativos (HoSIER).*

## Heliostato H81

El diseño y construcción del Heliostato H81, fueron llevados a cabo por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Las dimensiones del heliostato son de 9m x 9m y su

superficie reflectora está conformada por treinta espejos planos de segunda superficie de 6 mm de espesor, con dos grupos de espejos con dimensiones diferentes: un grupo de 20 espejos con dimensiones de 1.8 x 1.3m y 10 espejos de 1.8 x 1.9m. Los espejos se encuentran agrupados en 6 filas (en dirección este-oeste) y 5 columnas (en dirección norte-sur). Los 10 espejos de mayor dimensión pertenecen a las 2 filas centrales del heliostato, mientras que el resto de los espejos están ubicados en las primeras y últimas dos filas.

#### Concentrador

El diseño óptico del HoSIER, genera una potencia térmica de 30 KW, con flujos radiativos picos de 18,000 soles (aproximadamente  $18,000 \text{ kw/m}^2$ ) y una mancha solar menor o igual a 10 cm de diámetro.

#### Atenuador

Para el control de la potencia concentrada por el HoSIER en la zona focal del concentrador, se emplea un atenuador que bloquea una parte proporcional de la radiación solar reflejada por el heliostato y que pasa por la apertura del recinto donde se aloja el concentrador. El área bloqueada por el atenuador requirió ser caracterizada, para con ello generar un programa de control que automatiza la apertura proporcional del atenuador y por consiguiente la regulación en igual forma de la potencia concentrada.

#### Mesa experimental

Se diseñó y construyó una mesa sobre la cual se montan los dispositivos experimentales. La mesa tiene la capacidad de proporcionar un movimiento con precisión de una décima de milímetro en cualquiera de las tres direcciones. Esto posibilita tener un gran control en el posicionamiento de los receptores/reactores en la zona focal del HoSIER.



*Figura 2.3. Horno Solar de Altos Flujos Radiativos (HoSIER).*

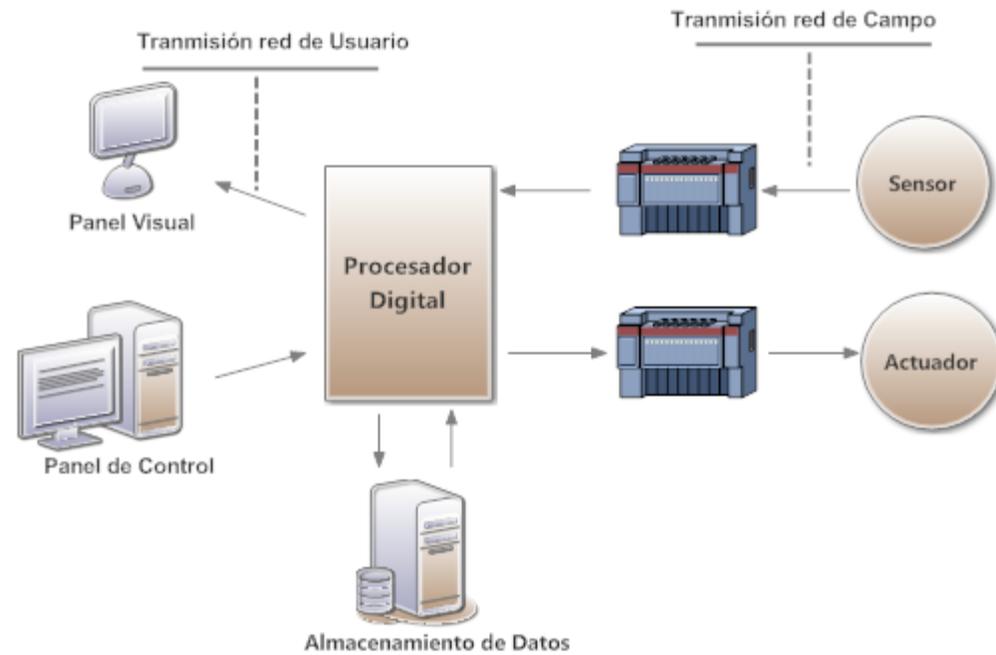
## **2.2 Sistema de Control SCADA**

El rápido avance de las tecnologías de hardware y software han hecho posible el desarrollo de una nueva generación de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

SCADA es un acrónimo por Supervisory Control And Data Acquisition (control y adquisición de datos de supervisión). Como su nombre indica, no es un sistema de control completo, sino que más bien se centra en el nivel de supervisión. Como tal, es un paquete de software puramente que se coloca en la parte superior de hardware a la que se interconecta, en general, a través de los controladores lógicos programables (PLC's), u otros sistemas. SCADA es comercial, no sólo se utilizan en la mayoría de los procesos industriales: por ejemplo, la fabricación de acero, generación de energía (convencional, renovable y nuclear) y la distribución, química, pero también en algunas instalaciones experimentales como la fusión nuclear.

Se distinguen dos capas básicas en un sistema SCADA: la "capa de cliente", que abastece para el hombre interacción de la máquina y la "capa de servidor de datos", que maneja la mayor parte de las actividades de control de los datos de proceso. Los servidores de datos se comunican con los

dispositivos en el campo a través de controladores de proceso. Controladores de proceso, por ejemplo, un PLC, están conectados a los servidores de datos, ya sea directamente o a través de redes o buses de campo que son de propiedad, o no propietario. Servidores de datos están conectados el uno al otro y para el cliente estaciones a través de una LAN Ethernet. ( Daneels & Salter, 1999)



*Figura 2.4. Arquitectura básica de un sistema SCADA.*

### 2.1.1 El sistema de control del HoSIER

Este sistema permite controlar todas y cada uno de sus componentes; la cortina, el atenuador, el helióstato, la mesa con movimiento tridimensional, el sistema de refrigeración, así como tomar datos de los diversos sensores ubicados en los dispositivos experimentales, y de las estaciones solarimétrica y meteorológica. El sistema de control central se coordina a través de lo que se denomina una máquina de estados, la cual manda llamar a los principales sistemas del HoSIER de uno en uno o en conjunto, sin que exista interferencia en el procesamiento a la hora de la ejecución de cada uno de los programas. Esto se hizo de esta manera para tener gran versatilidad. Este sistema de control se ejecuta a través de un sistema SCADA en el cual se tienen todos los subsistemas del HoSIER:

- Helióstato: Selección del tipo de control de seguimiento que se desea ejecutar, arranque y paro, ajuste del offset del seguimiento y paro de seguridad.
- Atenuador: Control de la apertura y cierre regulada del atenuador.
- Sistema de adquisición de datos (DAQ): adquisición de parámetros experimentales (temperatura, presión, caudal, radiación, etc.)
- Adquisición de imágenes de los experimentos y su procesamiento para determinar la distribución de radiación que se encuentra en la zona focal del HoSIER.
- Mesa de coordenadas, que posiciona los experimentos dentro y fuera de la zona focal.
- Control del sistema de refrigeración: encendido y paro de las bombas de refrigeración.

## **2.2 LabVIEW**

LabVIEW es un acrónimo por Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Esta plataforma permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software. Se puede diseñar especificando un sistema funcional, un diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería.

LabVIEW es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con 15 programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes). LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control.

### **2.2.1 LabVIEW FPGA**

El desarrollo tradicional para sistemas basados en FPGA requiere el uso de herramientas de software de bajo nivel y lenguajes de descripción de hardware (HDLs), pero labVIEW ofrece la reconfiguración de

circuitos en una forma digital y ofrece un enfoque de programación gráfica que simplifica la tarea de conectar a E/S y comunicar datos, mejorando enormemente la productividad del diseño.

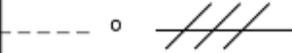
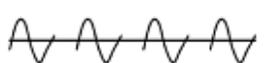
### **2.2.2 LabVIEW Real Time**

Con el Módulo LabVIEW 8.6 Real-Time, se puede tener acceso a cada módulo ya sea con el modo de escaneo de CompactRIO o con LabVIEW FPGA. Cuando se está utilizando LabVIEW FPGA, se puede implementar disparos personalizados, análisis y procesamiento de señales basado en hardware o procesamiento analógico de alta velocidad. Para utilizar los módulos de E/S en el modo LabVIEW FPGA. LabVIEW real time introduce nuevas funciones para la programación de hardware CompactRIO que reducen el tiempo de desarrollo y la complejidad, así como también proporciona herramientas para monitorear y mantener las aplicaciones en CompactRIO.

## **2.3 Normas de Instrumentación**

Para realizar diseños de diagramas de conexión ya sea de algún proceso, control, circuito o instrumento es necesario seguir ciertas normas que especifican la nomenclatura para nombrar los instrumentos y los símbolos de los sistemas de instrumentación y dispositivos utilizados para el diseño de la conexión, estas normas no son de uso obligatorio pero suelen ser recomendaciones a seguir para el reconocimiento de instrumentos en la industria. Una de las normas más sobresalientes o utilizadas son las normas ISA (Sociedad Americana de instrumentación).

La norma ISA-S5.1: Trata sobre simbología e identificación de la instrumentación industrial. Un ejemplo de la simbología recomendada por la norma ISA-S5.1 es la que se muestra en la Figura 2.5.

	1. Alimentación de instrumentos o conexión a proceso *
	2. Señal sin definir
	2. Señal neumática**
	3. Señal eléctrica
	4. Tubo capilar
	5. Señal hidráulica
	6. Señal electromagnética *** o sónica (sin hilo ni tubo)

*Figura 2.5. Simbología a emplear en los planos y dibujos de representación de instrumentos.*

### 3 Diseño de la solución

#### 3.1 Equipo de Instrumentación

##### 3.1.1 Electroválvulas

Una electroválvula es un elemento que incorpora un conjunto de una válvula mecánica y un electroimán lo cual le permite, o no, el paso de un fluido o un árido. Las electroválvulas son aquellos elementos que permiten su control mediante un controlador eléctrico o electrónico y, en consecuencia, son elementos del máximo interés en la automatización industrial. La válvula es el preactuador que acoplados tipos de energía, una neumática y la otra, en función de cómo se active dicha válvula. Para el caso de automatismos, en general la actuación es eléctrica, por lo que será más concreto el término de electroválvula. (Domingo Peña, Gámiz Caro, Grau i Saldes, & Martínez García, 2003) Existe una amplia cantidad de válvulas, siendo las que se indican en la Figura 3.1.

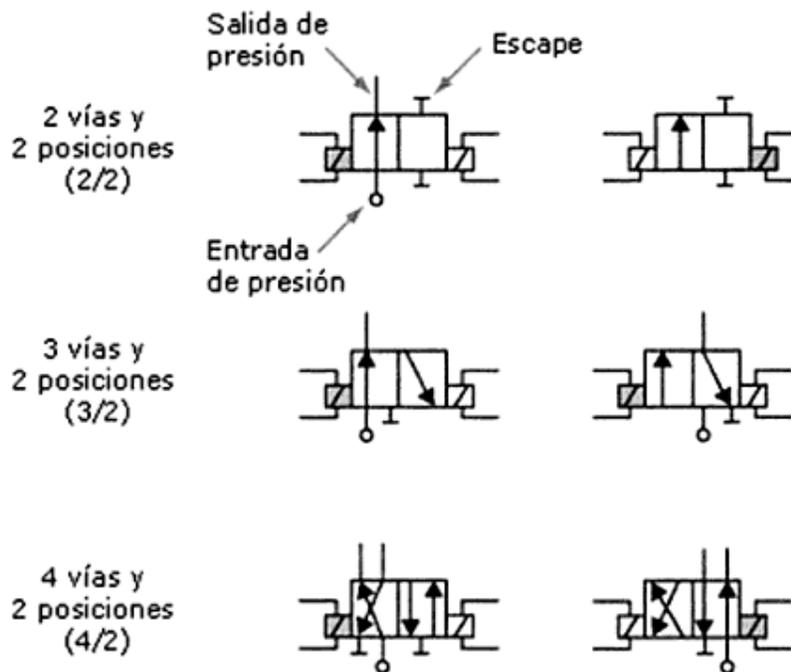
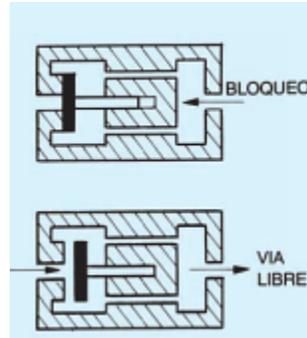


Figura 3.1. Tipos de Electroválvulas.

##### 3.1.2 Válvulas antiretorno

Cuando se desea que en una canalización de aire pueda circular solamente en un sentido, se intercala en ella una válvula antiretorno. Esta válvula permite el paso en una sola dirección y lo bloquea en la opuesta. El bloqueo puede realizarlo solamente la presión del aire o puede existir un resorte adicional.



*Figura 3.2. Esquema plano de válvula antiretorno.*

### 3.1.3 CompactRIO

CompactRIO es un sistema embebido y reconfigurable de control y adquisición. La arquitectura robusta del hardware del sistema CompactRIO incluye módulos de entradas y salidas como se observa en la Figura 3.3, además de que se tiene un chasis FPGA reconfigurable y un controlador embebido. CompactRIO se programa con herramientas de programación gráfica de NI LabVIEW y puede usarse en una variedad de aplicaciones de control y monitoreo embebidos.

Los sistemas CompactRIO consisten en un controlador embebido para comunicación y procesamiento, un chasis reconfigurable que aloja al FPGA programable por el usuario, módulos de entradas y salidas intercambiables ya sea en hardware y software gráfico LabVIEW.



*Figura 3.3. Chasis CompactRIO.*





**Figura 3.5. Módulo NI 9203.**

### Características Electrónicas

- Rangos de entrada programable de  $\pm 20$  mA, 0 a 20 mA.
- Resolución de 16 bits, rango de muestreo acumulado de 200 kS/s.
- 8 canales de entrada de corriente analógicos.
- Rango de operación de -40 a 70 °C.

### 3.1.6 Módulo NI 9265

Es un módulo de salida analógica de alto rendimiento para sistemas NI CompactRIO embebidos, proporcionan generación de señal precisa. Cada módulo incorpora una función de acondicionamiento de señal y un conector integrado con opciones de terminal de tornillo.



**Figura 3.6. Módulo NI 9265**

### Características Electrónicas

- Rango de salida de 0 a 20 mA, resolución de 16 bits.
- Detección de lazo abierto con interrupción, valor de encendido de 0.0 mA.
- Operación intercambiable en vivo (hot-swappable).
- 4 salidas analógicas actualizadas simultáneamente, 100 kS/s.
- Rango de operación de -40 a 70 °C.

### 3.1.7 Convertidor Serial-Ethernet

Es un dispositivo que convierte la señal de un cable serial RS232 a una Ethernet RJ485 ver Figura 3.7, este dispositivo puede ser configurable de forma remota a través de administración basada en Web o Telnet, permite comunicación por medio del COM para Windows y por medio de servidor TCP. Tiene una Tasa de transmisión en serie hasta 230,4 kBit / s.



*Figura 3.7. Convertidor.Serial-Ethernet*

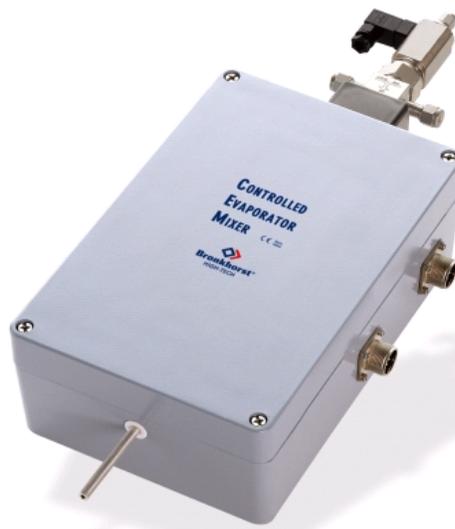
### 3.1.8 Controlador -Mezclador de Evaporación (CEM).

Se necesita un sistema de alimentación de mezcla de vapor agua a un reactor fotoquímico para ello se puede utilizar un generador eléctrico en el cual una resistencia eléctrica aporta el calor necesario para provocar la evaporación del agua en que se encuentra sumergida. Pero este sistema presenta ciertos inconvenientes. Además de una instalación relativamente complicada y las operaciones de

mantenimiento son relativamente, continuas. Existe, por último, una dificultad adicional: lograr la mezcla argón–vapor de agua supondría incorporar un segundo dispositivo.

Por contar con una referencia de un proyecto previo, se optó por la alternativa ofrecida de un CEM. Los controladores CEM se utilizan en un número de procesos donde dos o más componentes deben ser mezclados, en casos en los que se reparten un vapor de un líquido en un gas portador. *Bronkhorst Hi-Tech* ha desarrollado un único y patentado sistema para realizar el control de flujo de masa de vapores con una innovación: El Sistema de Entrega de CEM. Se puede aplicar para procesos a presión atmosférica y vacío.

Las 3 funciones básicas del sistema completo son: el caudal requerido se controla para el valor de consigna por una válvula de control (C) que forma una parte integral del flujo de líquido y gas portador de la válvula mezcladora (M). La mezcla formada entonces posteriormente se lleva al evaporador para lograr la evaporación total (E). Esto explica la abreviatura de la CEM. El sistema también incorpora una unidad de lectura / control, incluyendo la fuente de alimentación, para el funcionamiento de los dispositivos de CEM por el sistema.



**Figura 3.8. Controlador -Mezclador de Evaporación (CEM).**

## Características

- Mezcla de gas / líquido a controlar con precisión.
- Respuesta rápida.
- Alta reproducibilidad.
- Flujo de vapor muy estable.
- Selección con flexibilidad de la relación gas / líquido.
- Temperatura de trabajo menor que los sistemas convencionales.
- Control opcional de PC / PLC (RS232/fieldbus).

### 3.1.9 Caudalímetro Digital

El dispositivo al que se denomina caudalímetro (o flujómetro) es un aparato para el registro y control del caudal, o bien del gasto volumétrico de un fluido, o incluso del gasto másico, que refiere a la masa que fluye por un segmento en determinado tiempo.

Debido a que se contaba con un caudalímetro predeterminado para trabajar (El-Flow de *Bronkhorst Hi-Tech*) se hizo la comparación del que se tiene en existencia con otros dos caudalímetros de gas en la tabla 1 se muestra las principales características de los mismos.

**Tabla 1. Comparación de Caudalímetros.**

Caudalímetro	Características
El-Flow de Bronkhorst Hi-Tech	<ul style="list-style-type: none"><li>• 10 y 30 l/min</li><li>• Presión 400 bares</li><li>• Activación mediante entradas y salidas analógicas</li><li>• Comunicación serial RS232</li></ul>
Brooks Modelo SLA5850	<ul style="list-style-type: none"><li>• 30 l/min</li><li>• Presión 100 -300 bares</li><li>• Protocolo de comunicación DeviceNet™</li></ul>

Burket Mass Flow Meter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 to 15000 ml N/min</li> <li>• Presión 10 bares</li> <li>• Protocolo de comunicación PROFIBUS-DP</li> </ul>
------------------------	--

Una vez realizada la comparación de caudalímetros se tiene que el El-Flow de *Bronkhorst Hi-Tech* es el más conveniente para realizar la alimentación de gas al CEM ya que posee mejores características que los otros mostrados en la tabla 1, ya que es una serie de medidores y controladores de flujo másico de gas, con cubierta diseñada para aplicaciones en laboratorio. La serie caudalímetros El-Flow de *Bronkhorst Hi-Tech* se observa en la Figura 3.9, los cuales están equipados con un pc-board digital ofreciendo alta precisión, excelente estabilidad de temperatura y respuesta rápida (solución de tiempos 98 hasta 500 ms). La pc-board digital principal contiene todas las funciones generales necesarias para medición y control. Los instrumentos son únicos en su capacidad de medición y control de flujo.



*Figura 3.9. Caudalímetro Digital para Gas*

#### Características

- Respuesta rápida, excelente repetibilidad.
- Alta precisión.

- Prácticamente la presión y la temperatura independiente.
- Rangos de presión de hasta 400 bares.
- Construcciones de metal.
- Salida RS232 estándar de los instrumentos.
- Oferta de activación mediante E / S analógicas Además, una placa de interfaz integrado proporciona protocolos DeviceNet TM, PROFIBUS DP, Modbus, EtherCAT o FLOW –BUS. Este último es un bus de campo RS485 basada, diseñado específicamente por *Bronkhorst Hi-Tech* para su medición de flujo másico y soluciones de control.
- Funcionalidad opcional multi gas / de varios campos de hasta 10 bares.
- Almacenamiento de máximo 8 curvas de calibración.
- Características de control configurable por el usuario.

### 3.1.10 Analizadores Químicos

#### Calomat 6

El analizador químico de gases Calomat 6 se emplea principalmente para la determinación cuantitativa de H<sub>2</sub> en mezclas de gases no corrosivos binarios y similares. También pueden medirse concentraciones de otros gases si su conductividad térmica se diferencia claramente de la de sus gases residuales, como en el caso de Ar, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> o NH<sub>3</sub>.

El principio de medición se basa en la diferente conductividad térmica de los gases. Calomat 6 funciona con un chip de Si fabricado con tecnología micromecánica, cuya membrana de medición está provista de resistencias de película delgada. Dichas resistencias se regulan a temperatura constante. Para ello se requiere una intensidad que adopte un valor determinado en función de la conductividad térmica del gas de muestra. Este "valor bruto" se procesa electrónicamente y sirve para calcular la concentración de gas. Para suprimir la influencia de la temperatura ambiente, el sensor está situado en una caja de acero inoxidable con un termostato. Para evitar la influencia del flujo, el sensor está montado en un orificio al lado del canal de flujo.



*Figura 3.10. Analizador de gas Calomat 6.*

### Características

- Una salida analógica por cada componente a medir (de 0, 2,4 a 20 mA).
- Dos entradas analógicas configurables (p. ej. corrección de interferencia de gases o sensor de presión externo).
- Seis entradas binarias configurables (p. ej. cambio del rango de medida o procesamiento de señales externas de la preparación de muestra).
- Seis salidas de relé configurables.
- Ampliable en ocho entradas binarias y salidas de relé adicionales respectivamente (p. ej. para la calibración automática con un máximo de cuatro gases de calibración).
- RS485 incluido en la unidad básica (conexión en la parte posterior; con unidad de 19", también detrás de la placa frontal).

### Ultramat 23

El analizador de gas Ultramat 23 permite medir simultáneamente hasta cuatro componentes gaseosos: un máximo de tres gases activos en el infrarrojo como CO, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, así como O<sub>2</sub> con una célula de medición de oxígeno electroquímica.

El analizador de gas ultramat 23 usado en plantas de biogás permite medir de forma continua hasta cuatro componentes gaseosos: dos gases activos en el infrarrojo ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ) y, adicionalmente,  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  con células de medición electroquímicas. El analizador de gas ultramat 23 con célula paramagnética de oxígeno permite medir de forma continua hasta cuatro componentes gaseosos.

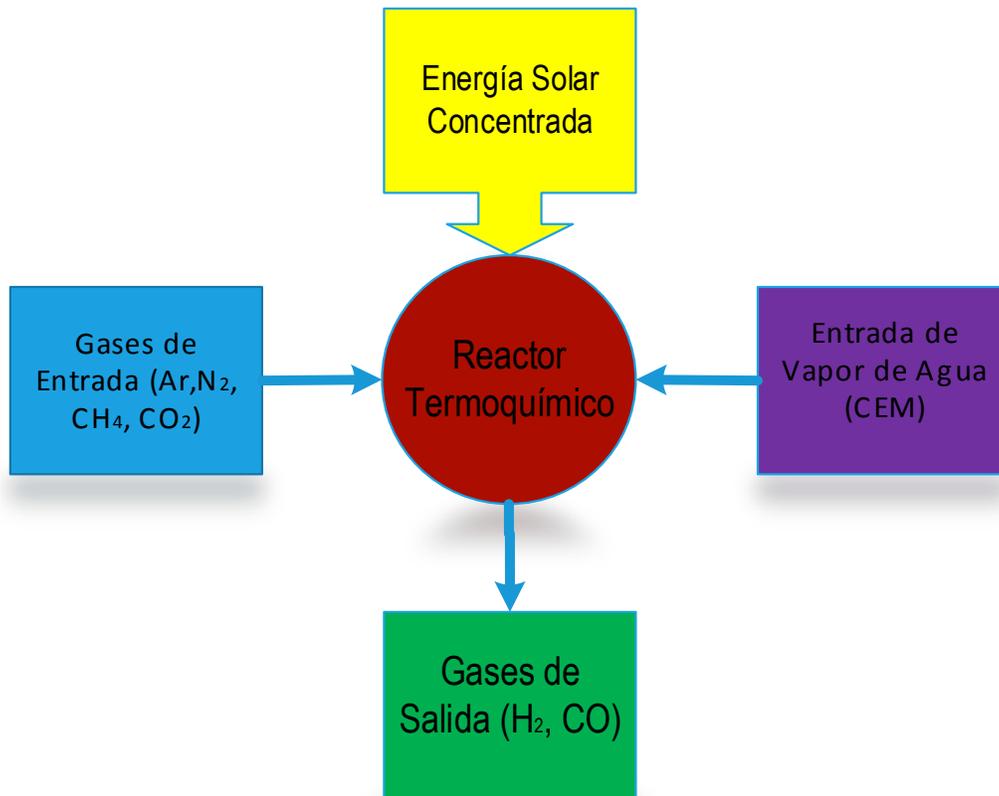


*Figura 3.11. Analizador de gas Ultramat 23.*

### **3.2 Diagramas de Diseño**

El reactor termoquímico utilizado en el HoSIER necesita equiparse de un sistema automatizado de generación de mezcla de gas inerte y vapor de agua para la realización. Además de que necesita un sistema en el cual se tendrán dos subsistemas uno de alimentación de gases al reactor y un subsistema a la salida de este para analizar el porcentaje de moléculas de Hidrogeno y dióxido de carbono obtenido durante la experimentación con energía solar altamente concentrada.

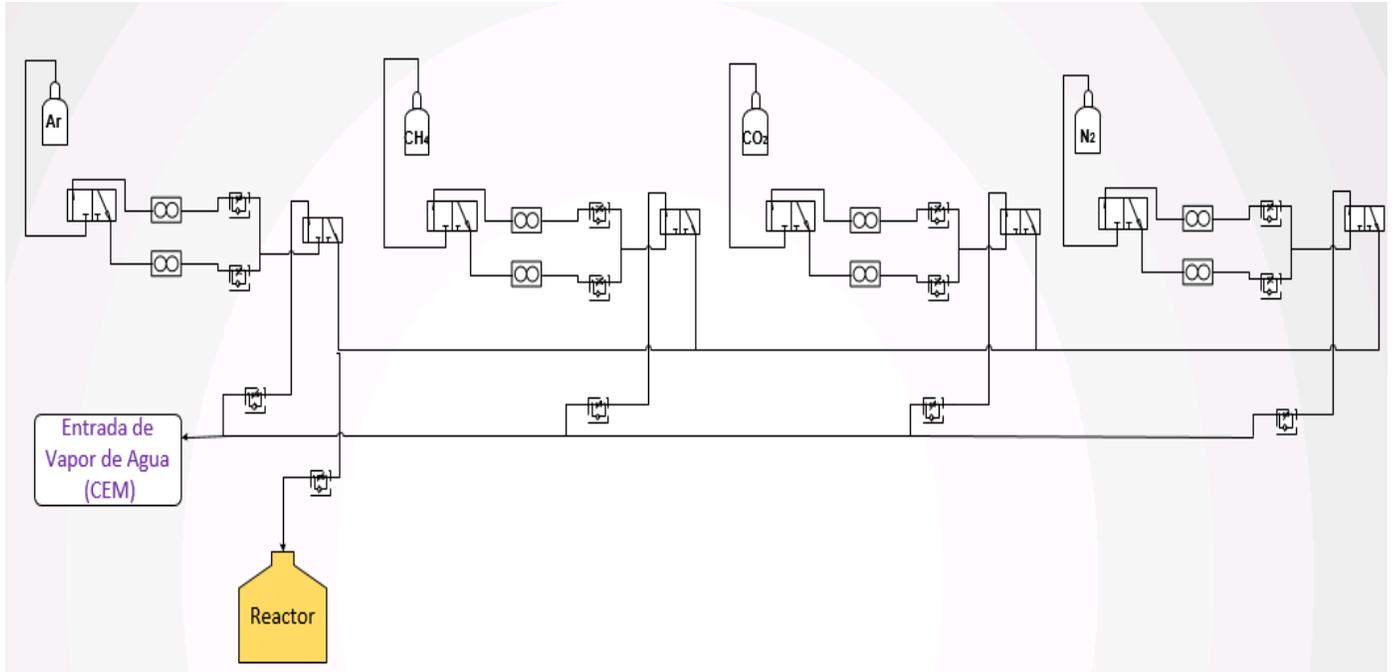
En la figura 3.12 se muestra un diagrama a bloques del sistema de gases el cual consta de tres subsistemas el primero de ellos es una etapa de alimentación de gases que va directamente al reactor o a un controlador CEM, posteriormente se tiene la etapa de mezcla de vapor de agua y gas inerte y como última etapa se tiene el sistema de análisis de gases a la salida del reactor.



*Figura 3.12. Diagrama a bloques de sistema de gases.*

El diseño de conexión del subsistema de alimentación de gases es el que se observa en la Figura 3.13, donde los caudalímetros están conectados a la línea de gases del HoSIER donde se tiene una electroválvula de 3/2 vías con la cual se podrá seleccionar el paso de gas a alguno de los caudalímetros ya sea el de 10 l/min o el de 30 l/min. La presión del gas que alimenta cada uno de los caudalímetros se selecciona a partir de las válvulas en las líneas de gases.

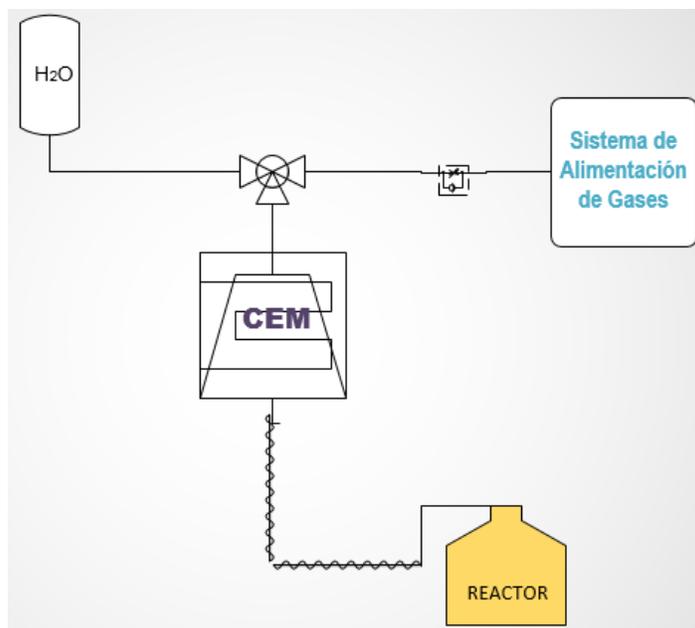
A la salida de cada uno de los caudalímetros se tiene una válvula antiretorno que permite el flujo de gas en un solo sentido impidiendo así el regreso del mismo, debido a que este sistema debe alimentar ya sea directamente al reactor termoquímico o al subsistema de mezcla de vapor de agua con gas inerte se tiene una electroválvula que selecciona la dirección del flujo de gas.



**Figura 3.13. Diagrama de conexión del Sistema de Alimentación de Gases (SAG).**

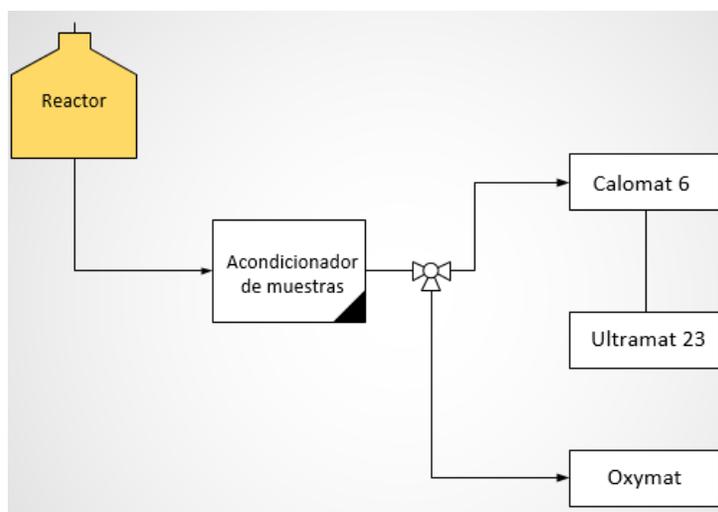
El diagrama de conexión del subsistema de mezcla de vapor de agua y gas inerte se observa en la Figura 3.14. Para que el controlador CEM funcione es necesario alimentarlo con agua ( $H_2O$ ) y un gas inerte ( $Ar$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$  o  $CO_2$ ), el cual se obtiene del subsistema de alimentación de gases. El controlador CEM cuenta con una válvula a la entrada para realizar la mezcla del agua con el gas inerte una vez realizada la mezcla entra al evaporador y posteriormente se entrega vapor de agua.

Es necesario mantener cierta temperatura en la mezcla realizada por el controlador, por ello en la vía de salida de este se tiene una cinta calefactora la cual impide la condensación de la mezcla entregada por el CEM.



*Figura 3.14. Diagrama de conexión de subsistema de mezcla de vapor de agua y gas inerte.*

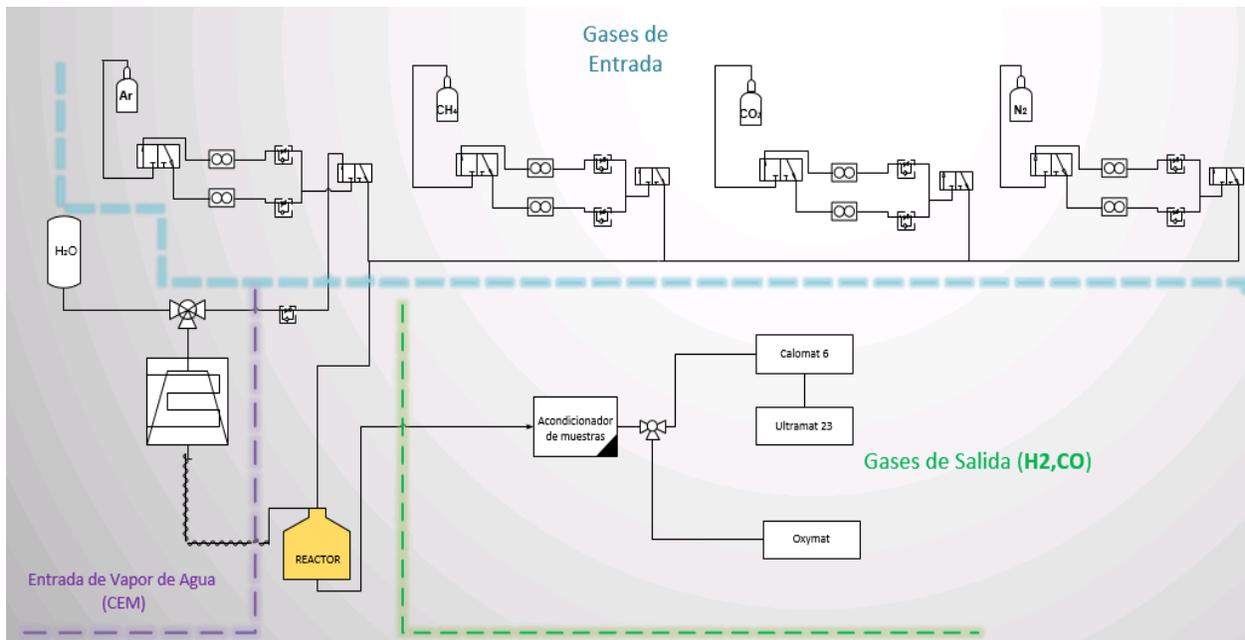
La tercera etapa o subsistema puede observarse en la Figura 3.15, dicho diagrama de conexión del inicia con un acondicionador de muestras ya que este se encarga de filtrar vapor de agua o humedad provenientes del reactor, debido a que posterior a este dispositivo se conectan los analizadores con los cuales se realiza el proceso de análisis químico de los gases que se obtienen a la salida del reactor para obtener moléculas de gases como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>.



*Figura 3.15. Diagrama de conexión del Sistema de Análisis de Gases.*

Se realizó el diseño del sistema completo utilizando el software Visio de Microsoft, en este diseño se hace la conexión de los tres sistemas como se observa en el diagrama de la figura 3.16, para realizar este diagrama se tomaron en cuenta las recomendaciones de la norma ISA-S5.1 de instrumentación industrial.

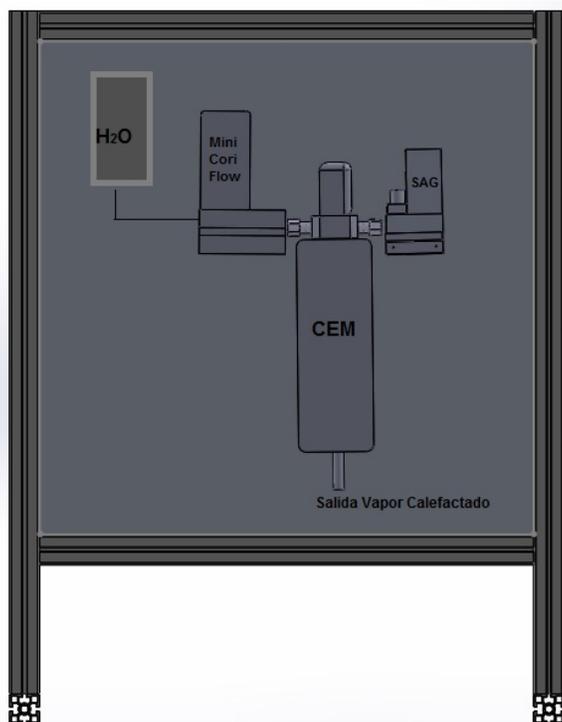
Las líneas de conexión de los subsistemas son continuas porque se tiene que es un proceso y para cada componente de instrumentación se tiene la simbología que representa cada dispositivo como lo son las electroválvulas, válvulas antiretorno y caudalímetros, así como en el subsistema de vapor de agua se observa a la salida del controlador una línea curvada que representa una conexión con control de temperatura.



**Figura 3.16. Diagrama de Conexión del Sistema de Gases.**

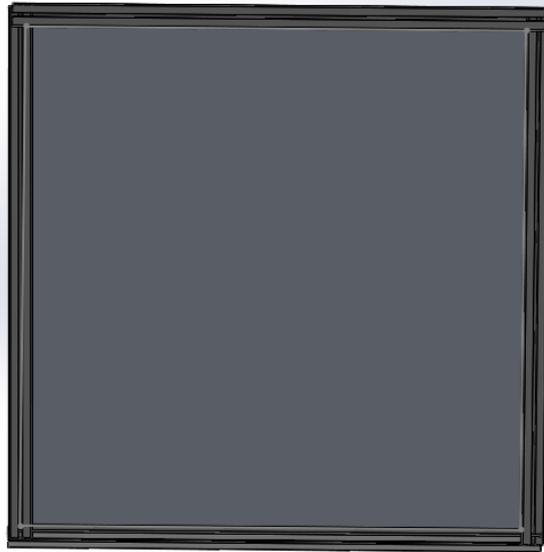
Para el montaje del subsistema de análisis de gases y el subsistema de mezcla de vapor de agua y gas inerte es necesario diseñar una estructura la cual debe de tener dimensiones coherentes para no producir sombra al reactor durante los experimentos. Los gabinetes y paneles para cada uno de los subsistemas se diseñaron en el software Solid Works.

En la Figura 3.17, se tiene un rack con dimensiones de 90 x 90 cm en la placa base y la estructura tiene una altura total de 100 cm, esta estructura es para el subsistema de mezcla de vapor de agua y gas inerte.



*Figura 3.17. Diseño de montaje para el sistema CEM en rack.*

Para el montaje del subsistema de alimentación de gases se realizó el diseño de un panel el cual tiene dimensiones de 90 x 90 cm que se compone de una placa base y cuatro perfiles de aluminio como puede observarse en la Figura 3.19.



**Figura 3.18. Panel para subsistema de gases, 90 x 90 cm.**

En la Figura 3.20 se tiene un gabinete para el montaje del acondicionador de muestras y los analizadores químicos con dimensiones de 70 x 44 x 32.5 cm al igual se compone de perfiles y placas base de aluminio de 44 x 32.5 cm.



**Figura 3.19. Base para acondicionador de muestras y analizadores químicos 70 x 44 x 32.5 cm.**

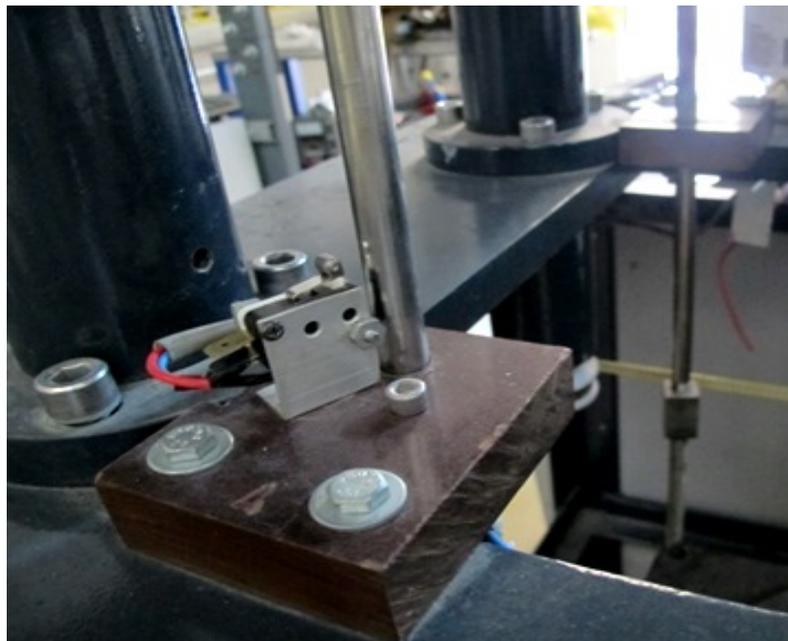
## 4 Comprobación de la Solución

### 4.1 Finales de carrera en mesa de experimentación del HoSIER

Para llevar a cabo experimentos en el HoSIER es necesario posicionar ya sea los reactores experimentales o los materiales a fundir en una posición focal exacta ya que si no se tiene la mesa de experimentación en el foco del concentrador no se llegan a obtener los resultados deseados durante los experimentos.

Anteriormente se contaba con el control de velocidad de los actuadores pero era necesario tener los finales de carrera (sensores) de las tres posiciones x, y, z de la mesa de experimentación y poder realizar un posicionamiento exacto. Por ello se realizó la integración de finales de carrera x, y, z a la mesa de experimentación donde se utilizó el siguiente material:

- Microswitch de respuesta rápida
- Módulo NI 9421 (Entradas Digitales)
- Software LabVIEW



*Figura 4.1. Instrumentación electrónica de final de carrera z en mesa de experimentación.*

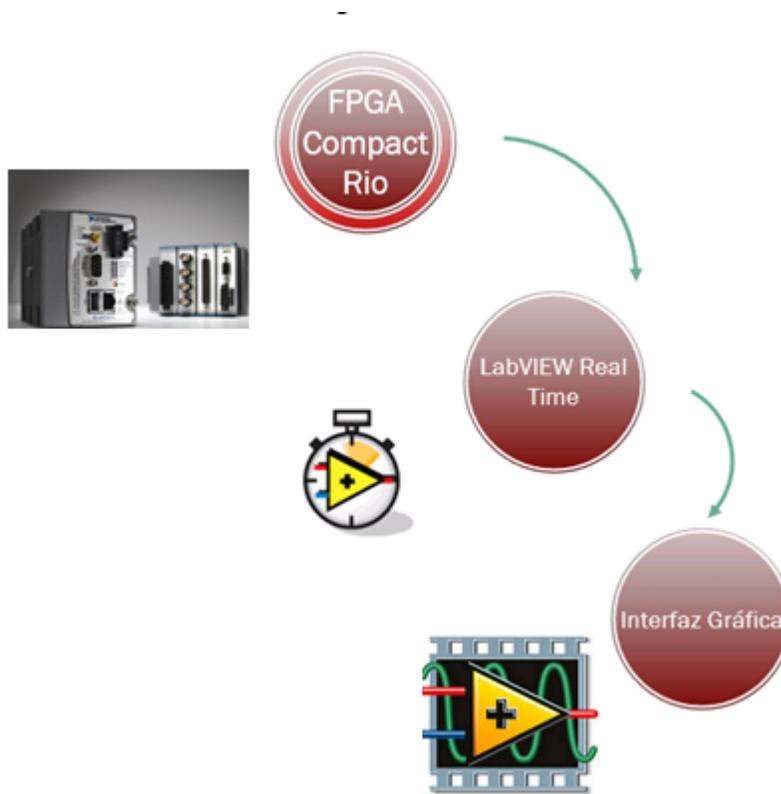
Una vez realizada la instrumentación electrónica de los finales de carrera con microswitch de respuesta rápida como se observa en la Figura 4.1 y la correcta conexión de los mismos a un módulo NI 9421 de entradas digitales el cual se integró al CompactRio y FPGA del sistema SCADA del HoSIER y se prosiguió a realizar la programación para el control de la posición de la mesa en la Figura 4.2 se muestra la interfaz de control de posicionamiento donde se puede observar los led's que representan los finales de carrera x, y, z en modo manual y los botones en modo manual.



*Figura 4.2. Interfaz gráfica del sistema de control de las posiciones en la mesa de experimentación.*

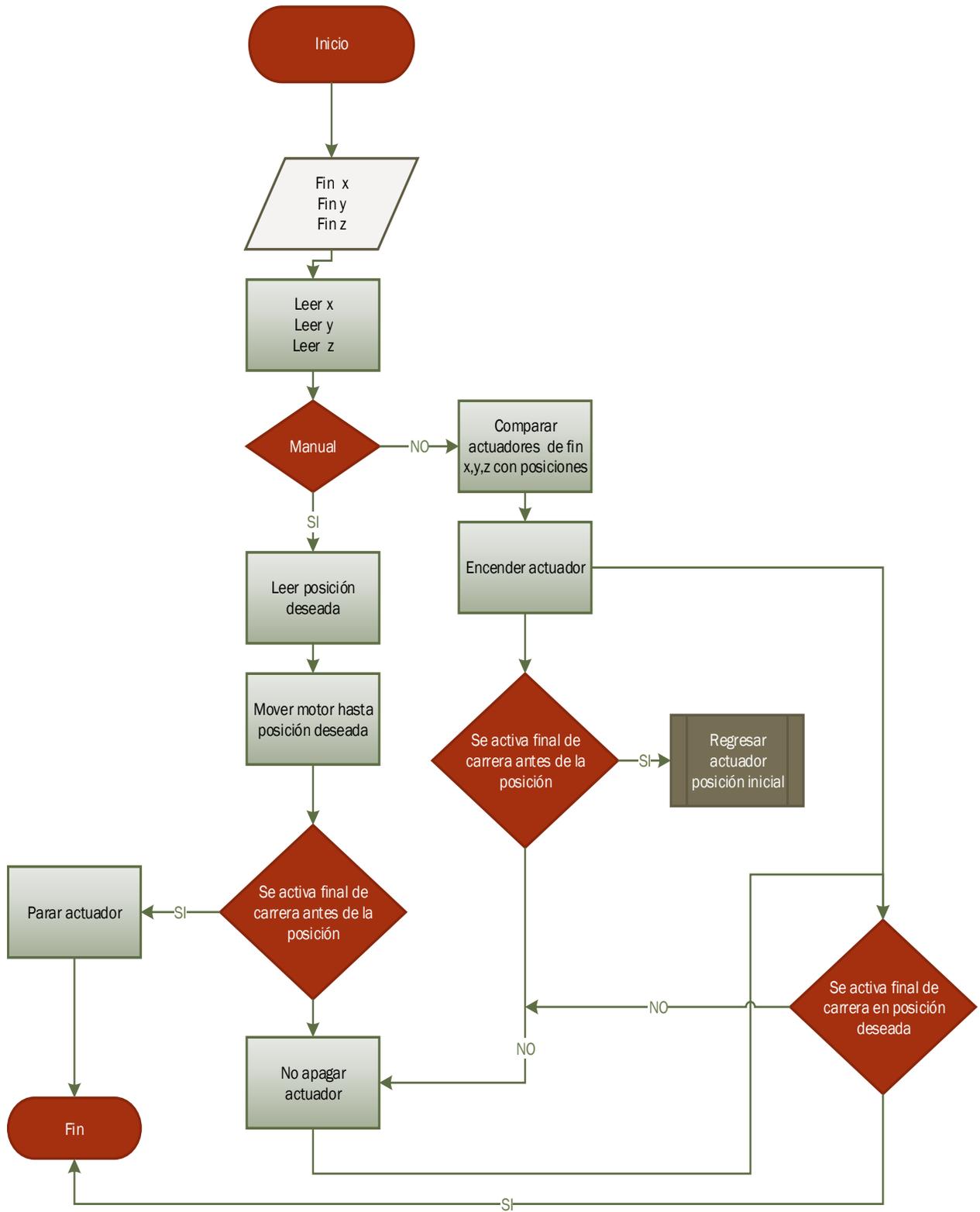
Debido a que se utilizó un CompactRio y la programación de este es en la capa FPGA se tiene un proyecto en el cual se hacen librerías con variables compartidas, estas sirven para mandar información a través de red ya sea a otra computadora o a otro VI del proyecto. En este proyecto se tiene el flujo de datos como el que se muestra en la Figura 4.3, se observa que una vez que el modulo se agrega al CompactRio se tiene que activar para posteriormente cargar la respectiva configuración de entradas y salidas de este y una vez hecho esto se compila. Una vez compilado el FPGA se procede a programar un VI en el real time de LabVIEW, en esta etapa se programan los módulos utilizando variables compartidas, indicadores y controladores. Por último se tiene la interfaz gráfica que utiliza la

información que se tiene en el real time para mostrar y controlar los procesos que se están llevando a cabo.



*Figura 4.3. Diagrama de flujo de datos en labVIEW.*

Para realizar la programación de los finales de carrera de la mesa de experimentación se realizó un diagrama a flujo el cual se muestra en la Figura 4.4, el control de posiciones de la mesa debe de tener dos modos de operación el manual y automático.



**Figura 4.4. Diagrama de flujo del programa de finales de carrera.**

## 4.2 Sistema de Alimentación de Gases

Para realizar el diseño de este subsistema se utilizaron caudalímetros de 10 l/min y 30 l/min los cuales son dispositivos que se pueden controlar mediante el protocolo FLOW-BUS de la empresa Bronkhorst utilizando la interfaz y conectores desarrollados por la misma empresa. Debido a que no se tenía el material requerido para la instrumentación electrónica de los caudalímetros. Se llevó a cabo la elaboración de cables de conexión basados en los diagramas propuestos en los manuales de los dispositivos.

Los caudalímetros son digitales pero estos se pueden activar con corriente en un rango de 4 a 20 mA o con tensión de 5 a 10 V, por ello las primeras pruebas se hicieron utilizando un CompactRIO y módulos de NI 9203 de entradas de corriente analógicas y NI 9265 salidas de corriente analógicas en el rango de 0 a 20 mA. Una vez hecha la conexión de los caudalímetros a los módulos analógicos y a una fuente de alimentación, el led indicador del caudalímetro se enciende y se muestra de color verde indicando que el dispositivo esta encendido pero es necesario activar el modo de monitoreo del caudalímetro esto se hace mediante un microswitch ubicado en la parte superior derecha del dispositivo, este debe ser presionado 4 veces con lapsos de tiempo de 1 segundo, al realizar esto los leds indicadores deben parpadear cambiando de color entre rojo y verde para posteriormente quedarse en color verde indicando que el dispositivo se ha activado correctamente.

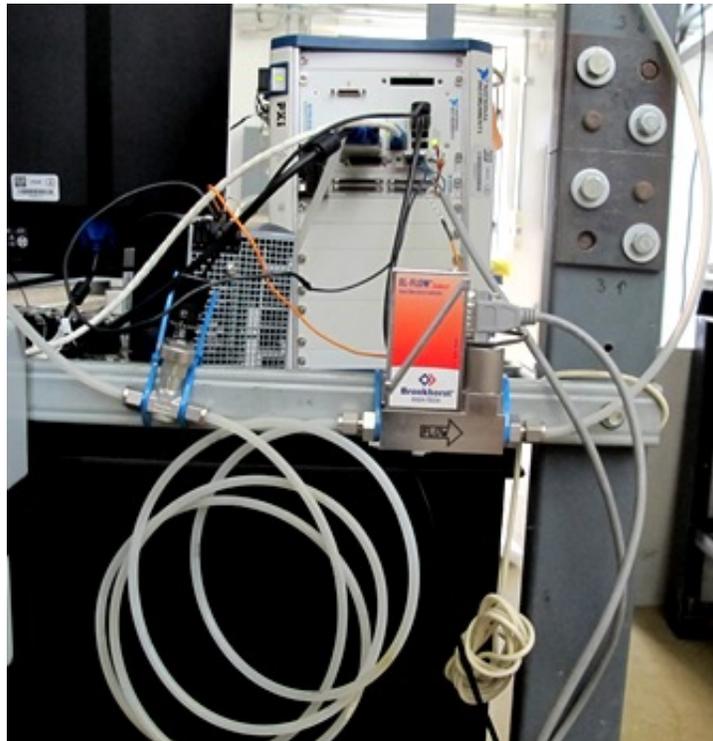
Se realizó un VI en LabVIEW con el cual se tenía el control de la corriente suministrada por el módulo NI 9265 al mismo tiempo se obtenía la lectura de la corriente del caudalímetro el cual se encontraba conectado al módulo NI 9203, por medio de esta lectura se monitoreaba el flujo de gas en el caudalímetro pero no se controlaba la válvula de flujo de gas,

Una vez que se hizo la activación y se obtuvo lectura del dispositivo se realizó un cable que lleva la configuración que se muestra en la Figura, es un cable serial con conector DB9 hembra-hembra con una derivación para la alimentación de 24V para el caudalímetro.

Con el cable se realizó la conexión de los caudalímetros con lo siguiente:

- Cable serial conector DB9 Hembra-Hembra
- Comunicación serial

- Fuente de alimentación externa
- CPU Industrial NI PXI 8108.
- Manguera para gas
- Conectores rápidos



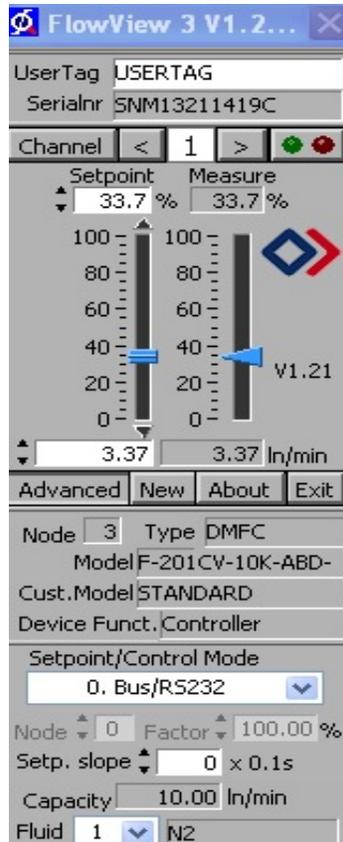
*Figura 4.5. Conexión electrónica de caudalímetro de Nitrógeno.*



*Figura 4.6. Conexión de caudalímetro de gas a.*

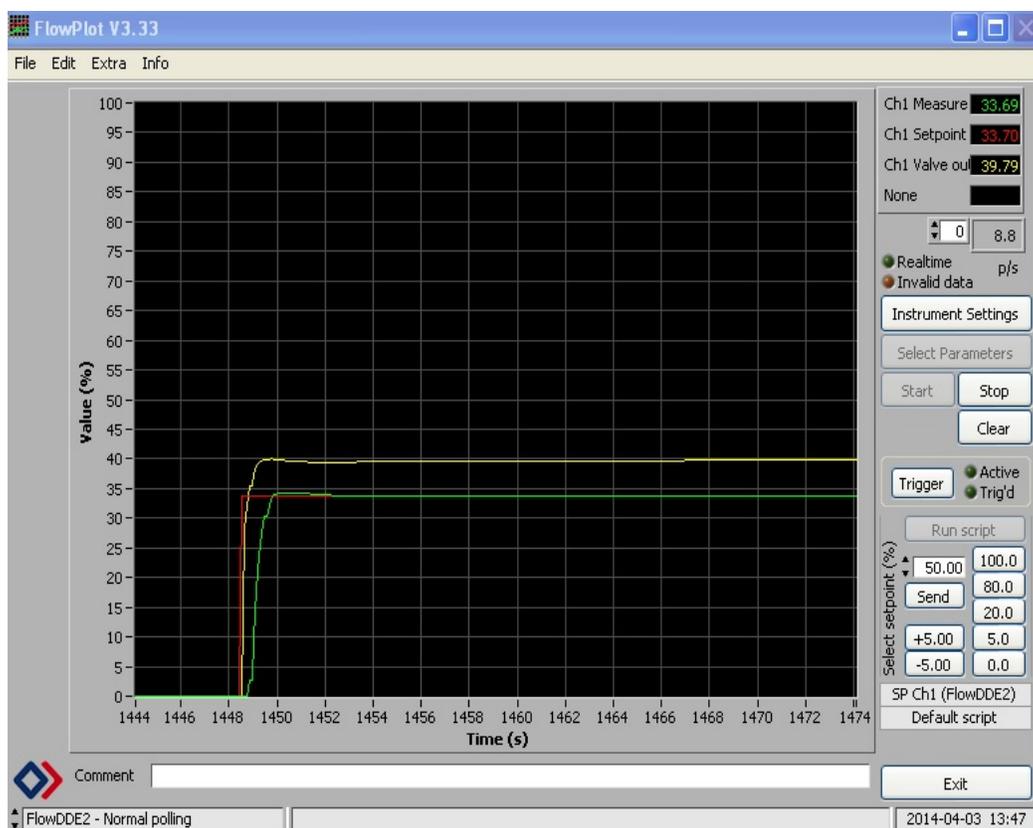
Ya que se tiene el caudalímetro conectado al CPU Industrial NI PXI 8108 y el led indicador del caudalímetro está en verde se debe comprobar la conexión serial esto mediante una interfaz de comunicación.

Para controlar la válvula del caudalímetro se utiliza la comunicación serial RS232 y la interfaz del proveedor como se observa en la Figura 4.7, la cual muestra los litros por minuto de gas que se tiene y se controla el flujo de gas que se requiere.



*Figura 4.7. Interfaz de control de caudalímetros.*

Se tiene otra interfaz donde se muestra en tiempo real el flujo de gas en tres graficas como se muestra en la Figura 4.8, la gráfica de color amarillo muestra el porcentaje de abertura de la válvula del caudalímetro, la de color rojo muestra el setpoint del controlador de la interfaz y por último el verde es el flujo de gas real que está pasando por el caudal.

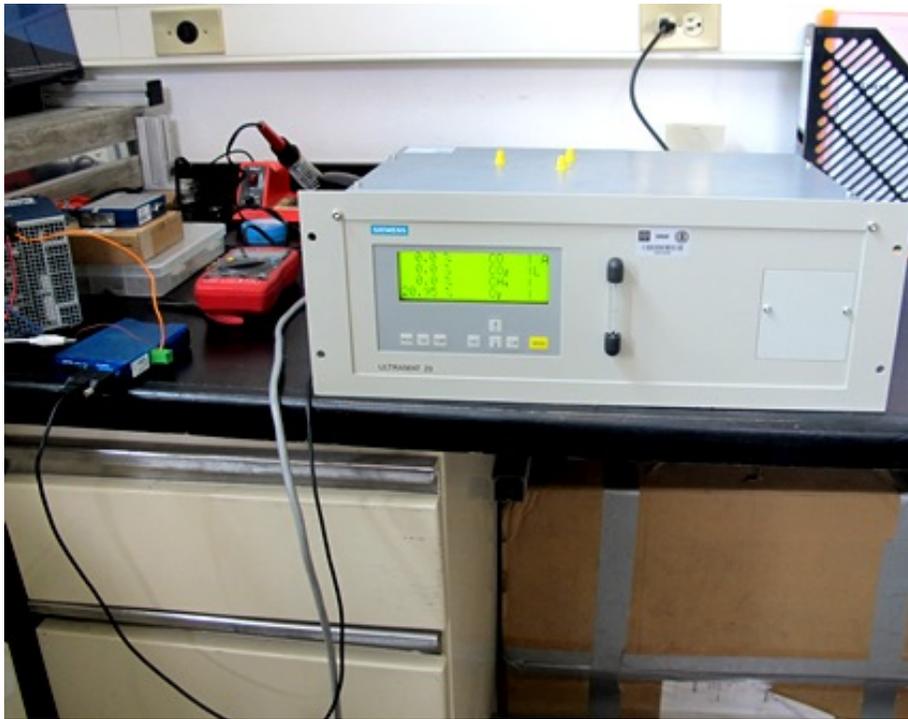


*Figura 4.8. Gráfica en tiempo real de flujo de gas Nitrógeno.*

### 4.3 Sistema de Análisis de Gases

Para el Sistema de análisis de gases se utilizaron tres diferentes analizadores químicos los cuales se tienen que integrar a la salida de un reactor termoquímico para saber el porcentaje de moléculas de hidrogeno o dióxido de carbono que se obtienen.

Se realizó la conexión del analizador Ultramat 23 (ver Figura 4.9), con el cual se puede adquirir datos de dos formas la primera de ellas es mediante un convertidor Serial-Ethernet como se observa en la Figura 4.10, este dispositivo se conecta a una fuente de alimentación y posteriormente el cable serial al analizador y el cable Ethernet puede conectarse directamente a una computadora o en el caso de que se conecte a un modem o red interna es necesario conectarlo con un cable cruzado, ya que este dispositivo provee la comunicación del analizador con la interfaz del proveedor Siprom GA.



*Figura 4.9. Analizador Ultramat 23 operando.*

Para establecer la comunicación del convertidor Serial-Ethernet con la interfaz del analizador es necesario asignar una IP mediante el protocolo telnet. Se utilizó el software Putty para realizar la configuración del cliente telnet para comunicar el analizador con la PC.

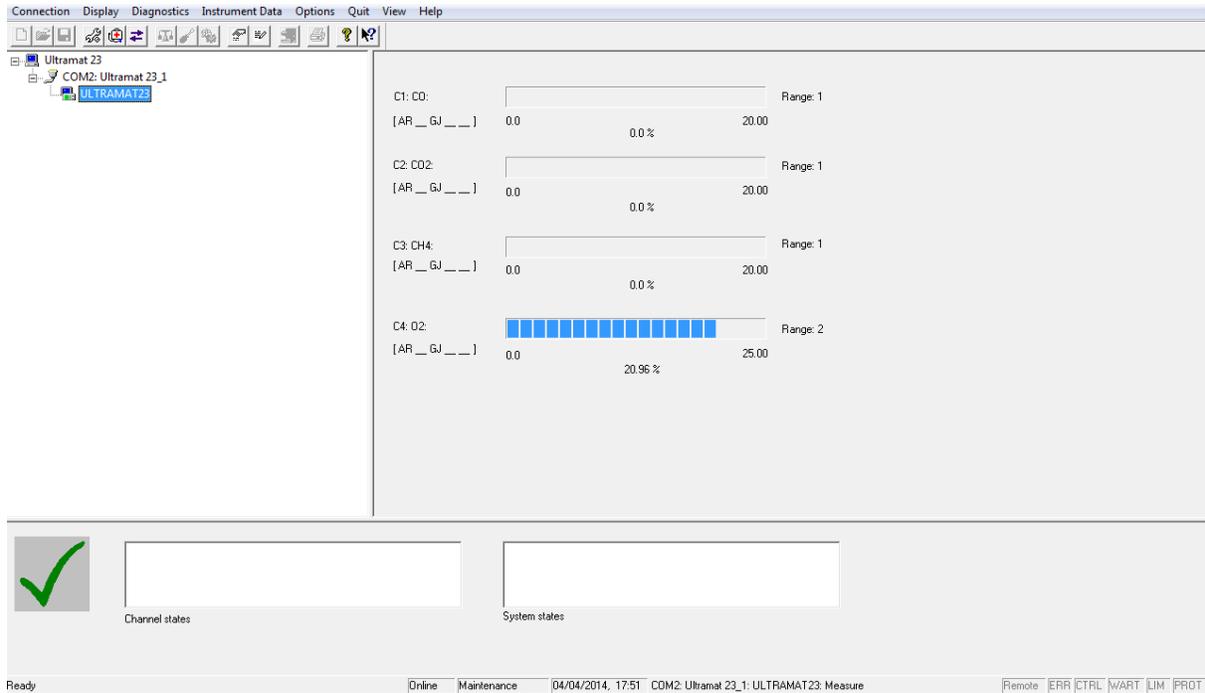
```
172.16.245.71 - PuTTYtel
*** Port:- / Menu Level:2 *****
Setup TCP/IP
1. IP-Address
2. Subnet Mask
3. Gateways
4. DNS-Server
5. MTU (560-1460)
6. DHCP Client
7. BOOTP Client
8. WBM Port
9. Keep Alive Time (sec)
10. Retransmission Timeout (ms)
Press <No.+ ENTER> (q=quit): 1

*** Port:- / Menu Level:2 *****
IP-Address
Lease Time (hh:mm:ss)= 2:38:16
(172.16.245.71):

*** Port:- / Menu Level:2 *****
1. IP-Address
2. Subnet Mask
3. Gateways
4. DNS-Server
5. MTU (560-1460)
6. DHCP Client
7. BOOTP Client
8. WBM Port
9. Keep Alive Time (sec)
10. Retransmission Timeout (ms)
Press <No.+ ENTER> (q=quit): 2
```

*Figura 4.10. Asignación de IP para el cliente Telnet.*

En la Figura 4.11, se muestra la interfaz del programa Siprom GA del analizador ultramat 23 donde se observa el porcentaje de gas que está recibiendo el analizador.



**Figura 4.11. Interfaz Ultramat 23.**

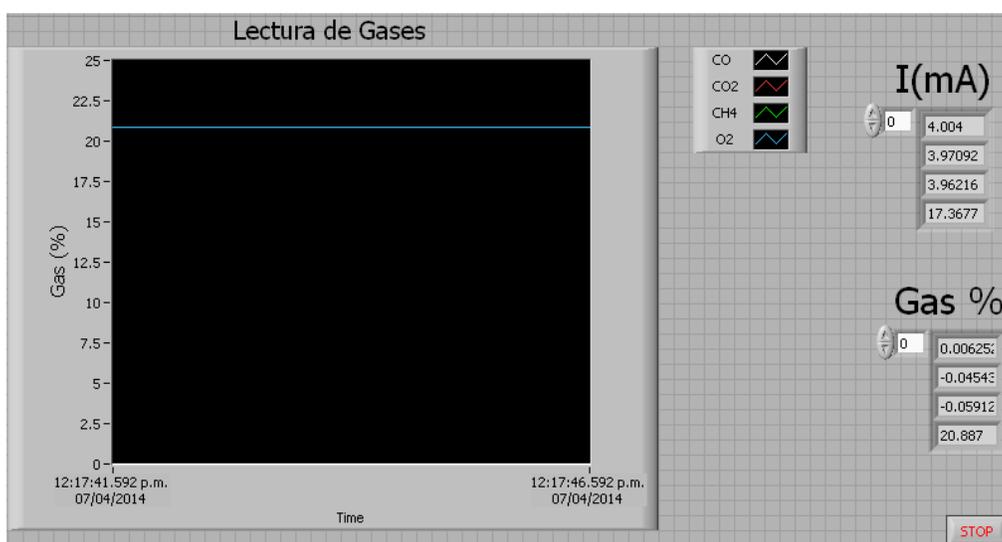
La segunda forma de adquirir datos de los analizadores es mediante lectura analógica de corriente; con un CompactRIO, un módulo de entrada de corriente analógica NI 9203 y un cable X80 ver Figura 4.12, se hizo la conexión del analizador al módulo y posteriormente con un programa realizado en LabVIEW se hizo la adquisición de los datos.



**Figura 4.12. Cable X80.**

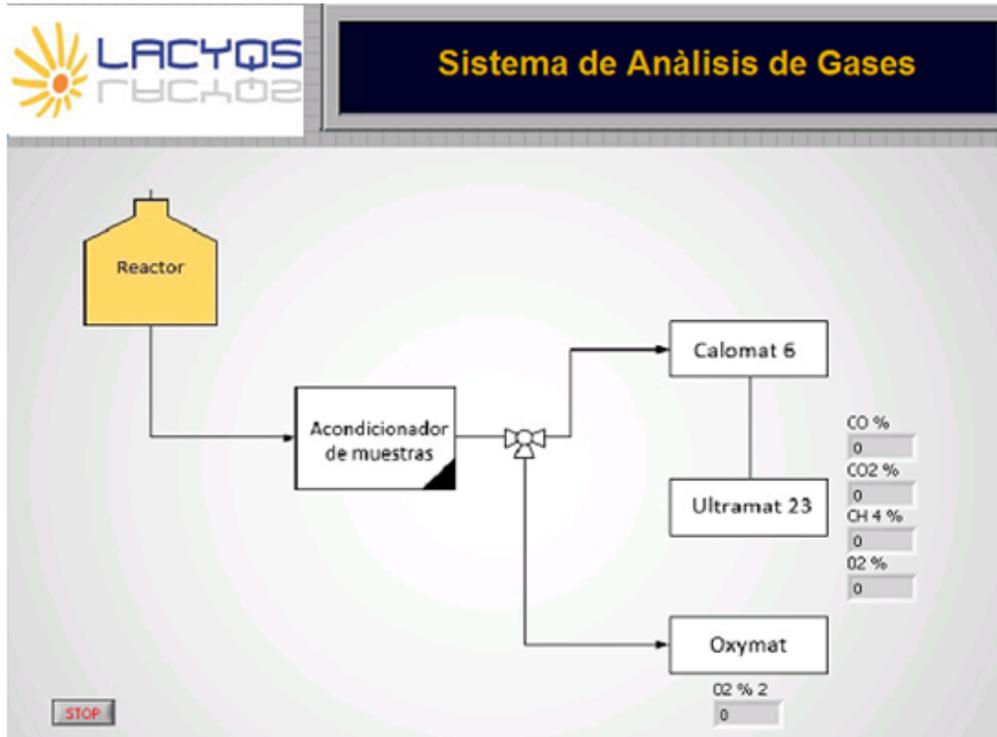
La lectura de corriente está en un rango de 4 a 20 mA que es 0 y 100 % respectivamente. La programación para la adquisición de datos es mediante el FPGA de CompactRIO, se toma la lectura del módulo NI 9203 para posteriormente en el módulo real time de labVIEW se lee la corriente en amperes y se convierte a mA. Se integra un subVI al programa donde se realiza la conversión de corriente a porcentaje de cada uno de los gases que se tienen en el analizador (ver anexo B Figura 3).

Se tiene el panel frontal del módulo real time ver Figura 4.13 donde se grafica el porcentaje de los gases adquiridos para mostrar el comportamiento del analizador.



**Figura 4.13. Gráfica de porcentaje de gas en el analizador.**

Se diseñó una interfaz gráfica en labVIEW la cual muestra el porcentaje de gas en cada analizador químico (ver Figura 4.14), esto es para monitorear los analizadores durante los experimentos.



*Figura 4.14. Interfaz gráfica de adquisición de datos de analizadores químicos.*

En las pruebas solo se tenía lectura mayor a 4 mA en el canal de Oxígeno debido a que no se contaba con los demás gases que el Ultramat 23 puede leer como son CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y CO.

## 5 Conclusiones

Los diferentes experimentos que se realizan en el HoSIER demandan una variedad de dispositivos así como de estructuras de control para los mismos, por ello es necesario integrarlos al sistema principal SCADA ya que esto provee un control y monitoreo de cada subsistema.

El correcto posicionamiento de la mesa de experimentación es de suma importancia durante los experimentos ya sean procesos termoquímicos o estudios térmicos destructivos de materiales ya que la energía concentrada en la zona focal del HoSIER es la que permite obtener las moléculas de gases deseadas y los valores de temperatura que diferentes materiales soportan.

Se realizaron diferentes pruebas para la caracterización de los dispositivos dando como resultado la activación, control y monitoreo de los subsistemas de alimentación y análisis de gases una vez que se obtuvo esto, se realizó un experimento para comprobar el funcionamiento de los caudalímetros de gas.

### 5.1 Trabajos Futuros

Tomando en cuenta los alcances del proyecto realizado se tiene un trabajo pendiente en el cual se debe implementar el diseño propuesto haciendo el ensamblaje del sistema de gases.

Para que el sistema de mezcla de gas inerte y vapor de agua se pueda integrar al sistema SCADA se tienen que adquirir los componentes faltantes como conectores, cables para comunicación FLOW-BUS y una interfaz serial para comunicación con la PC para poner en operación al sistema, posteriormente se debe realizar la instrumentación electrónica adecuada para posteriormente hacer la integración de este al sistema SCADA realizando la programación en el entorno LabVIEW.

Integración de dispositivos para medición de temperatura de no contacto al sistema SCADA:

El equipamiento de las cámaras termográficas constara del montaje y configuración de las mismas, las cuales van a proveer imágenes con información sobre la temperatura de los reactores o materiales durante la experimentación con energía solar.

Bus de comunicación serial para caudalímetros:

Ya que se realizaron los cables de conexión serial para los caudalímetros utilizados se tiene que elaborar un bus para comunicar y controlar todos los dispositivos del subsistema de alimentación de gases para realizar el bus se propone tener una PC esclava y crear

## **6 Bibliografía:**

- [1] Daneels, A., & Salter, W. (1999). International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. *WHAT IS SCADA?* Trieste, Italy: CERN.
- [2] Valentín Labarta, J. L. (2008). *Introducción a los circuitos neumáticos*. España: Donostiarra.
- [3] Arancibia Bulnes, C., & Best Brown, R. (2010). Energía del Sol . *Ciencia"Revista de la academia de ciencias"*, 10-17.
- [4] Caño, A. (2009). "*Tecnologías de transformación solar-eléctrica*".
- [5] Domingo Peña, J., Gámiz Caro, J., Grau i Saldes, A., & Martínez García, H. (2003). *Introducción a los autómatas programables*. UOC.
- [6] IER-UNAM. (s.f.). *Universidad Autónoma de México*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de Instituto de Energías Renovables: <http://xml.cie.unam.mx/xml/>
- [7] ISA-S5.1, N. (s.f.). ISA-S5.1: Sobre simbología e identificación de la instrumentación.
- [8] LACYQS-IER-UNAM. (s.f.). *Laboratorio Nacional de Infraestructura en Sistemas de Concentración Solar y Química Solar*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de <http://lacyqs.cie.unam.mx/es/index.php/instalaciones/horno-solar-de-alto-flujo-radiativo>
- [9] Marín, C. E. (2010). La energía solar termoeléctrica en España. Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.
- [10] Pérez Rábago, C. A., Guzmán Galán, R., Flores Guzmán, N., Brito, E., Marroqui García, D., Pérez Inciso, R., y otros. (s.f.). CONTROL SYSTEM FOR THE HIGH-FLUX SOLAR FURNACE OF CIE-UNAM IN TEMIXCO, MEXICO. FIRST STAGE. *SYSTEM FOR THE HIGH-FLUX SOLAR FURNACE OF CIE-UNAM IN TEMIXCO, MEXICO. FIRST STAGE*. Cuernavaca, México.
- [11] Romero Álvarez, M. (s.f.). Energía Solar Termoeléctrica. CIEMAT.
- [12] Solar, C. d. (s.f.). *Libro Solar*. CORFO.
- [13] Solé, A. C. (2011). *Instrumentación industrial*. Barcelona: Marcombo.

o

## 7 Anexos

### 7.1 Anexo A: Diagramas de conexión

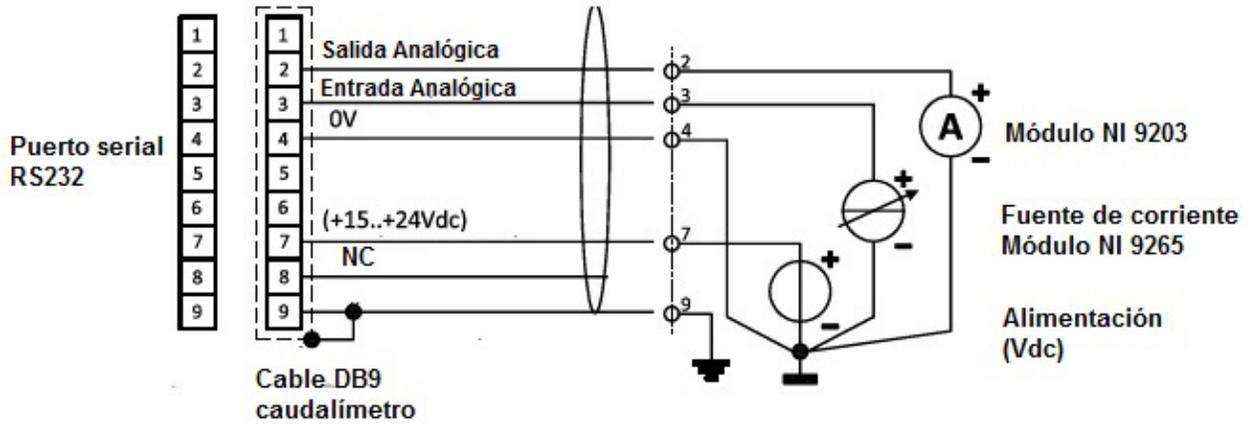


Figura A.1. Diagrama de conexión cable serial DB9 para E/S analógicas.

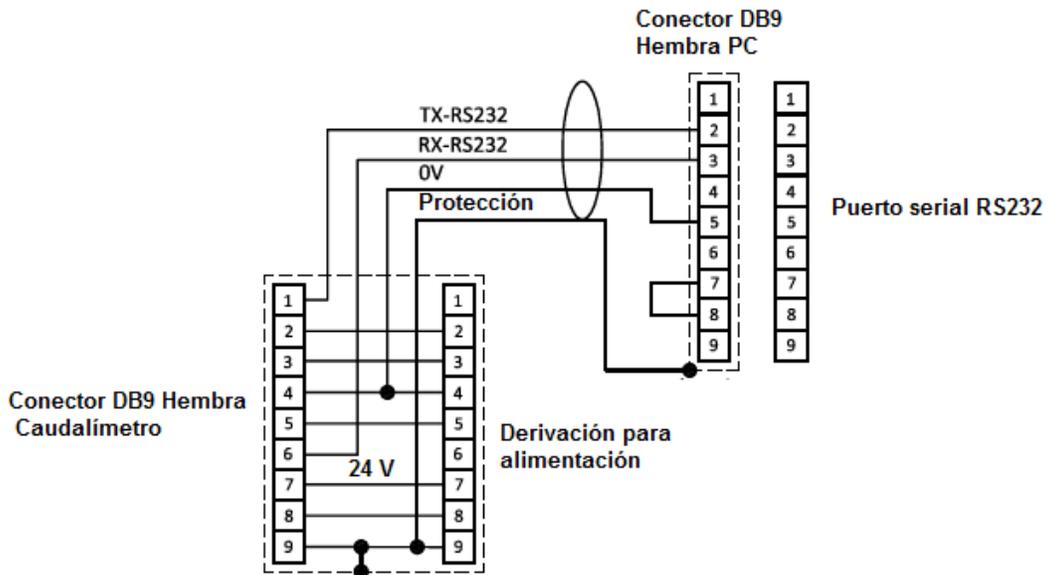


Figura A.2. Diagrama de conexión del cable serial para caudalímetro.

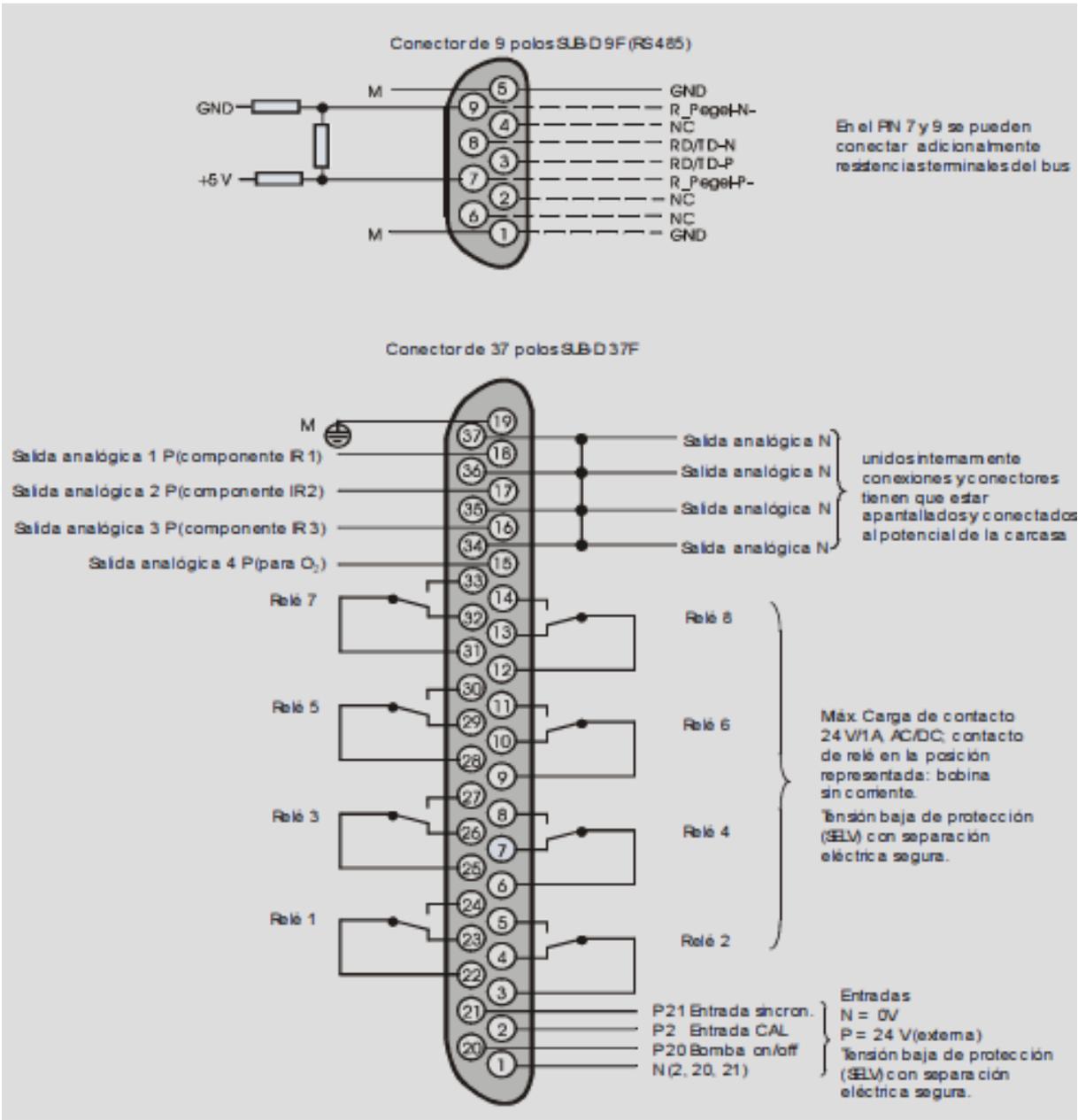


Figura A.3. Diagrama de conexión de cable X80 para analizador químico Ultramat 23.

## 7.2 Anexo B: Diagramas VI LabVIEW

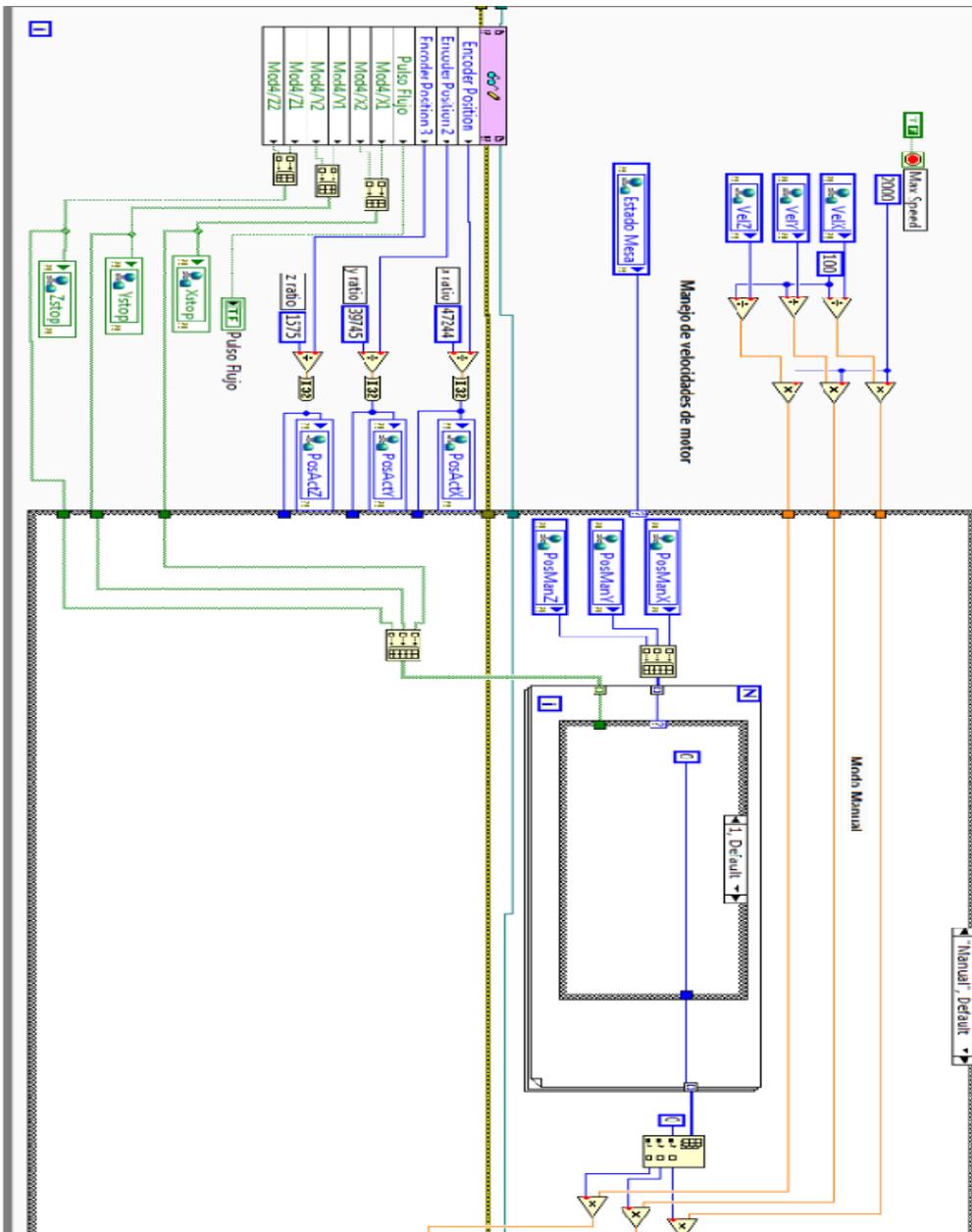


Figura B.1. VI LabVIEW : Control manual de posiciones de mesa de experimentación.

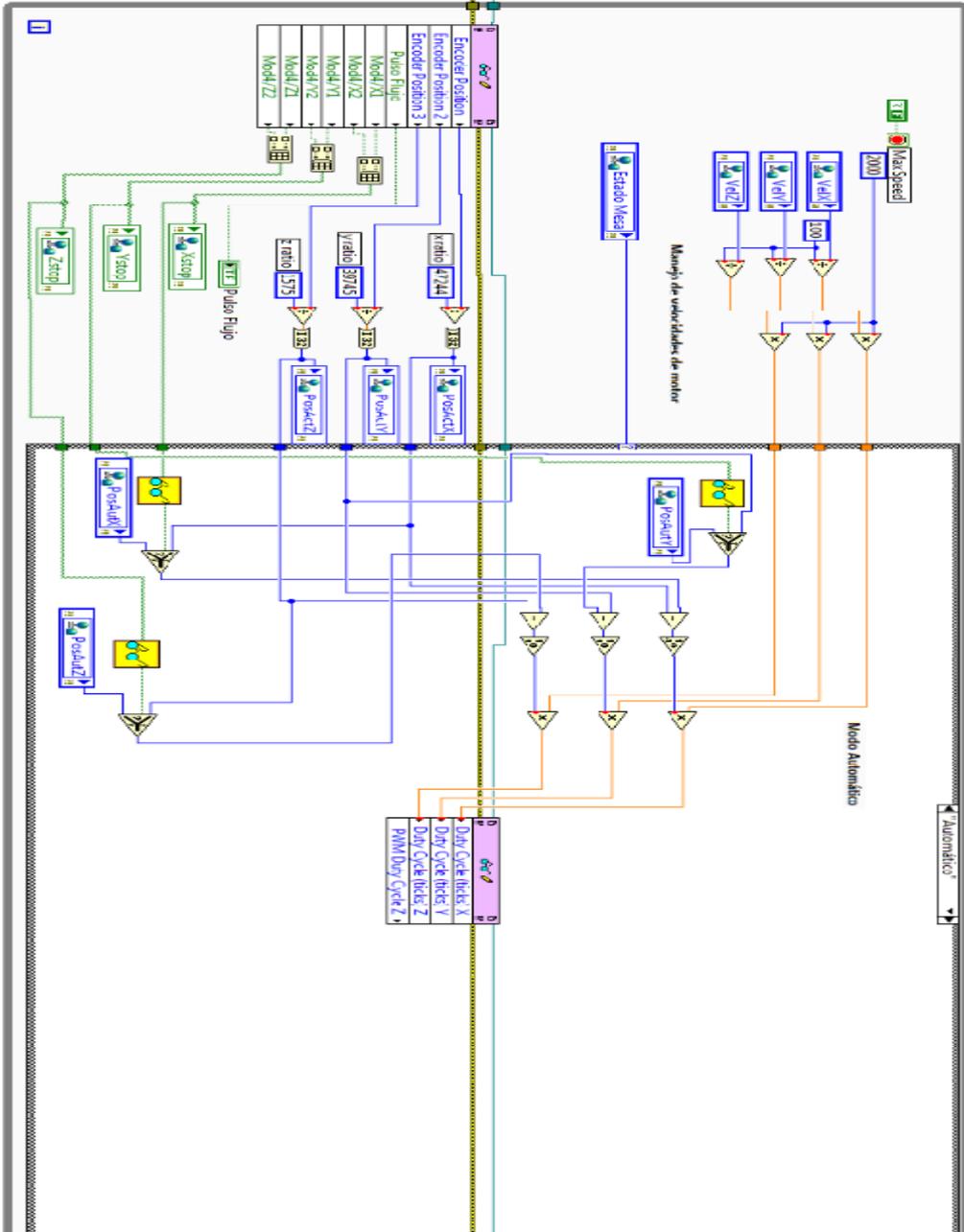


Figura B.2. VI LabVIEW: Control automático de posiciones de mesa de experimentación.

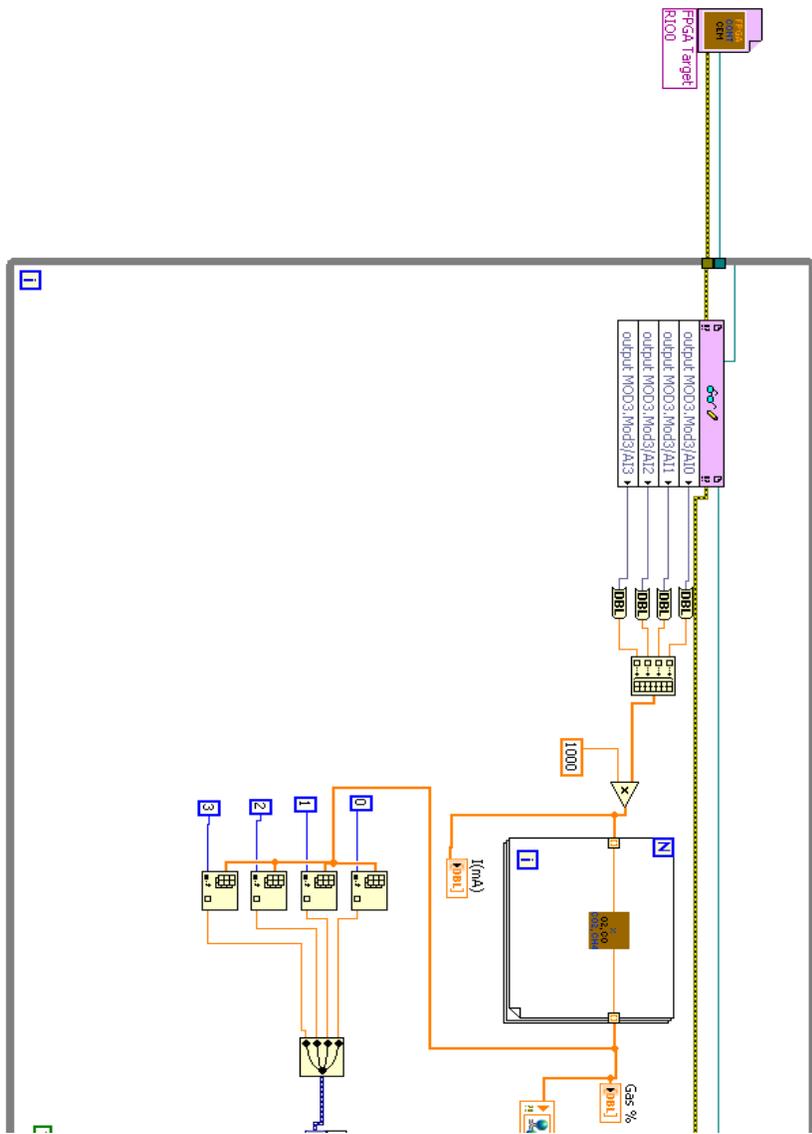


Figura B.3.VI LabVIEW: Programa de adquisición de datos de analizadores químicos.