



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE OPERACIÓN  
CONTROL Y DIAGNOSTICO PARA EL EQUIPO DE  
CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ALTAMIRA AMI-3

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

ANGEL REYES GARCÍA

ASESOR: M en TI. JORGE BUENDIA GOMÉZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán**



Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos **LA TESIS:**

“Desarrollo de un Sistema de Operación, Control y Diagnóstico para el Equipo de Caracterización de Materiales Altamira AMI-3”

Que presenta el pasante: Angel Reyes García

Con número de cuenta: 30131897-8 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Eléctricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 15 de Diciembre de 2011.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>
<b>PRESIDENTE</b>	M.T.I. Jorge Buendía Gómez	
<b>VOCAL</b>	M.A.I. Pedro Guzmán Tinajero	
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
<b>1er SUPLENTE</b>	Ing. Marcelo Bastida Tapia	
<b>2do SUPLENTE</b>	Ing. Petra Medel Ortega	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).  
HHA/pm

## **DEDICATORIA**

Por que desde el principio ellos me dieron su confianza y ahora al final, donde estas palabras no reflejan los sentimientos nacidos del corazón me siento tan agradecido.

A ellos que son los únicos que conocen realmente como soy, ya que cada uno de ellos forma parte en mi corazón y mis pensamientos: Mis padres Angel Reyes Ramos y Eva García Jacinto; Mis Hermanos Ricardo y Andres.

### **A mis Padres...**

Por que gracias a ellos aprendí el valor del trabajo y el amor por los libros.

Por compartir sus experiencias y sus consejos, ya que con ellos el camino de la vida se vuelve menos pedregoso.

A ellos, en quienes siempre encontré el amor, la paciencia, el respeto y la humildad.

Mis Padres que pusieron todo su ser y alma en mí.

### **A mi padre**

En quien veo reflejada la persona que sin demora brinda todo lo que esta su alcance para ayudar a los demás. El que desde pequeño me enseñó que "Si la vida es dura, el conocimiento es un medio para salir adelante en ella".

Por que en sus manos se encuentran grabadas las horas de esfuerzo para que yo terminara mi carrera.

### **A mi madre**

Ella la persona que mi dio la vida... que es más de lo que puedo pedir.

La persona que me enseñó el valor de un libro y como usarlos.

Ella quien me enseñó el cariño y el respeto por los que se quiere.

La primera persona que puso un libro entre mis manos, que compartió sus horas para que terminara las tareas de la escuela, hasta que con tanto cariño me dijo un día:

Hijo "ya no puedo ayudarte"

Ha...que lagrimas arrancan de mi pecho estas palabras que tantas cosa podría decir...

## **A mis Hermanos...**

### **Ricardo**

El que con sus palabras fuertes, pero con cariño me decía "Cuando la terminaras", palabras que bien reflejan su carácter duro pero que a lo largo de estos años no es un reproche sino un aliento.

El la persona que ha estado conmigo desde que éramos pequeños, en quien puedo confiar después de mis padres más en cualquier otra persona, en quien encuentro un consuelo en horas de debilidad.

La persona que me brinda su cariño y su fortaleza.

### **Andres**

El que con su suspicacia y preguntas nos recuerda que no lo sabemos todo.

El que aun nos saca canas verdes a todos.

En él, me veo reflejado en tiempos pasados, cuando las dudas y preguntas se encontraban a mi alrededor, y que ahora me esmero en responderle.

El quien nos da momentos de alegría y en quien tenemos esperanzas de ser una persona mejor que nosotros.

***Son a ellos, Mi familia a quienes dedico esta tesis.***

## AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, revisando, corrigiendo y dando me animo.

Agradezco al Instituto Mexicano del Petróleo, en el Área de Electrónica analítica en especial al M. en C. Jose Amando Ortiz Islas por darme la oportunidad, el animo y las correcciones de esta tesis, así como al Ing. Julio Ramírez.

A mi asesor M. en TI. Jorge Buendía Gómez, por su tiempo y apoyo en la realización de esta tesis.

A mis sinodales por tener la paciencia y brindarme un poco de su tiempo en las correcciones de esta tesis: Pedro Guzmán Tinajero, Jorge Rodríguez Ramírez, Marcelo Bastida Tapia y Petra Medel Ortega.

A la institución que me formo como profesionista, a la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4**, en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la **Universidad Nacional Autónoma de México**.

A los profesores que me formaron dentro de la Facultad: Dr. Vladimir Tchijov, Ing. Juan González Vega, Ing. Antonio Herrera Mejía, José Ubaldo Ramírez Urizar, Blanca G. de la Peña Valencia, Javier Hernández Vega, Ing. Aquiles Reyes Flores, Ing. Victor Hugo Landa Orozco.

A mis amigos que me brindaron su amista a lo largo de la carrera, y por quienes siento un gran aprecio, amigos que a lo largo de las risas, tristezas, frustraciones, “pedas” y alegrías encontré personas en las que puedo confiar incondicionalmente: Luis Miguel Galván Zarate, Mario Alberto Corona Valdez, Arturo Islas Daza, Iván Nivón Pérez.

A mis compañeros, que compartieron las clases y también las borracheras: Arturo Mares Lancon, Alfonso Arreola Del Pozo, Rodolfo Antonio García Rábago, Lorenzo López Calixto, José Olguín Cisneros, Santiago Martínez Martínez, Ulises Trinidad García, Federico Domínguez, Norberto Zarate y a todos aquellos que por falta de memoria no recuerdo ahora.

***A mi familia por brindarme su apoyo y que gracias a ellos estoy aquí.***

*Finalmente a la parte insustancial que existe en el universo a la cual Platón llamaba el mundo de las ideas y a la que la gente llama DIOS.*

# ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos particulares.....	19
JUSTIFICACION.....	20
CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	21
1.1 Introducción.....	21
1.2 Catalizadores.....	21
1.3 Técnicas de caracterización.....	23
1.4 Sistema AMI-3.....	25
CAPITULO 2: SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3.....	33
2.1 Introducción.....	33
2.2 AMI-3.....	33
CAPITULO 3: SISTEMA PROPUESTO.....	84
3.1 Introducción.....	84
3.2 Consideraciones generales del diseño.....	84
3.3 Esquema primario del sistema.....	85
CAPITULO 4: TARJETAS DAQ.....	97
4.1 Introducción.....	97
4.2 Generalidades.....	97
4.3 Entradas analógicas.....	99
4.4 Salidas analógicas.....	105
4.5 Otras funciones.....	109
4.7 Tarjetas de adquisición de datos.....	114
4.8 Constitución del nuevo Sistema de Adquisición de Datos (PXI).....	118
CAPITULO 5: SOFTWARE.....	129
5.1 Introducción.....	129

5.1 LabVIEW.....	129
5.2 Instrumento virtual (VI).....	130
5.4 Metodología del diseño.....	135
5.5 Prototipo del panel.....	136
5.6 Alambrado del diagrama.....	141
5.7 Sistema IMP de Caracterización (SIMPCAR.VI).....	145
5.8 Panel.....	146
5.9 Caracterización del catalizador.....	176
5.10 Diagnostico del sistema.....	183
CONCLUSIONES.....	189
RECOMENDACIONES.....	192
BIBLIOGRAFÍA.....	193
INDICE DE TABLAS.....	195
ANEXO.....	196
Diagrama de bloque del SIMPCAR.....	196
Controlador de flujo másico (MFC).....	199
Actuadores multiposición.....	207
Conversión de voltaje a temperatura.....	211
GLOSARIO.....	213

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Espectroscopia Raman (Fuente: Instituto de Carboquímica ICB ) .....	23
Figura 1. 2 Difracción de Rayos X (Fuente: ICB) .....	24
Figura 1. 3 Microscopia electrónica de barrido (Fuente: ICB) .....	25
Figura 1.4 TPR/TPO/TPD (Fuente: ICB) .....	25
Figura 1. 5 Proceso de caracterización, fase de análisis (Fuente: Propia).....	26
Figura 1. 6 Fuente estándar (Fuente: Internet).....	29
Figura 1. 7 Fuente IBM PC (Fuente: Propia).....	30
Figura 2.1 Sistema de caracterización por temperatura programada AMI-3 (Fuente: Altamira Instruments) .....	33
Figura 2.2 Filamento del TCD (Fuente: GOW-MAC ).....	34
Figura 2.3 Bloque del TCD (Fuente: GOW-MAC) .....	35
Figura 2.4 Diagrama eléctrico del TCD (Fuente: Propia) .....	35
Figura 2.5 Sistema de tuberías (Fuente: Propia).....	39
Figura 2.6 Rack de gases (Fuente: Propia).....	40
Figura 2.7 Transductor de presión (Fuente: Propia).....	41
Figura 2. 8 Filtro de aire y regulador de presión (Fuente: Propia).....	41
Figura 2. 9 Válvulas solenoides de enfriamiento (Fuente: Propia) .....	42
Figura 2.10 Sistema de tuberías AMI-3 (Fuente: Propia) .....	43
Figura 2.11 Campo producido por una bobina (Fuente: VALYCONTROL) .....	44
Figura 2.12 Movimiento del embolo dentro de la bobina (Fuente: VALYCONTROL) .....	44
Figura 2.13 Válvulas solenoides del sistema AMI-3 (Fuente: Propia) .....	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.14 Selección de gases (Fuente: Altamira Instruments).....	46
Figura 2.15 Controladores de flujo másico (Fuente: Propia).....	47
Figura 2.16 Actuadores (Fuente: Propia).....	48
Figura 2.17 Actuador y válvula multiposición (Fuente: Propia).....	49
Figura 2.18 Loop (Fuente: Propia).....	49
Figura 2.19 Actuador neumático (Fuente: Propia).....	50
Figura 2.20 Estaciones y hornos (Fuente: Propia).....	51
Figura 2.21 Vista frontal del sistema eléctrico (Fuente: Propia).....	51
Figura 2.22 Diagrama de protección (Fuente: Propia).....	52
Figura 2.23 Diagrama eléctrico de los hornos (Fuente: Altamira Instruments).....	53
Figura 2.24 Diagrama eléctrico de fuentes, protecciones y actuadores (Fuente: Altamira Instruments).....	55
Figura 2.25 Controlador de temperatura Honeywell UDC 1000 (Fuente: Propia) .	56
Figura 2.26 I/O Rack (Fuente: Propia).....	57
Figura 2.27 Detector TCD (Fuente: Propia).....	58
Figura 2.28 Fuente de corriente Athena (Fuente: Propia).....	59
Figura 2.29 Modulo de aislamiento SCM5B30/31 (Fuente: Propia).....	60
Figura 2.30 Señal diferencial del TCD (Fuente: Propia).....	61
Figura 2.31 Controles de temperatura externos (Fuente: Propia).....	62
Figura 2.32 Watch Dog Timer (Fuente: Propia).....	62
Figura 2.33 Control de Temperatura del TCD (fuente: Propia).....	64
Figura 2.34 Control de temperatura del <i>balcony K</i> (Fuente: Propia).....	64
Figura 2.35 Controladores Watlow (Fuente: Propia).....	65
Figura 2.37 Localización del termopar del limitador Watlow (Fuente: Propia).....	65
Figura 2.37 IBM PC NEC 433 (Fuente: Propia).....	66

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.38 Keithley 575 (Fuente: Propia).....	67
Figura 2.39 Tarjetas IBM PC (Fuente: Propia) .....	68
Figura 2.40 Pantalla principal (Fuente: Propia) .....	71
Figura 2.41 Pantalla de constantes Ramp PID (Fuente: Altamira Instruments) ....	72
Figura 2.42 Pantalla de constantes PID HOLD (Fuente: Altamira Instruments) ....	73
Figura 2.43 Pantalla de constantes de gases (Fuente: Altamira Instruments) .....	74
Figura 2.44 Calibración MFC (Fuente: Altamira Instruments) .....	75
Figura 2.45 Pantalla de selección de puertos (Fuente: Altamira Instruments) .....	76
Figura 2.46 Pantalla de configuración del sistema (Fuente: Altamira Instruments)78	
Figura 2.47 Pantalla de definición del experimento (Fuente: Altamira Instruments) .....	79
Figura 2.48 Pantalla de calendarización de los experimentos (Fuente: Altamira Instruments) .....	80
Figura 2.49 Pantalla de estatus de las estaciones y TCD (Fuente: Altamira Instruments) .....	81
Figura 2.50 Señal aumentad del TCD (Fuente: Altamira Instruments).....	81
Figura 2.51 Pantalla de análisis (Fuente: Altamira Instruments) .....	82
Figura 2.52 Pantalla de diagnostico (Fuente: Altamira Instruments).....	83
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema propuesto (Fuente: Propia) .....	86
Figura 3.2 Revisión de las conexiones del Keithley (Fuente: Propia).....	90
Figura 4.1 Tarjeta de adquisición de datos conectada a una PC, por medio de su bus interno o una interfaz estándar (Fuente: R.F. Coughlin etal. 1993) .....	98
Figura 4.2 Etapa analógica de entrada de una tarjeta DAQ (Fuente: R.F. Coughlin etal. 1993) .....	100

## INDICE DE FIGURAS

Figura 4.3 Pequeña señal de información contaminada con altos ruidos. Modelo de los voltajes en modo común (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993).....	102
Figura 4.4 Efecto de la resolución (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993).....	104
Figura 4.5 Efecto del intervalo de entrada analógica seleccionada para una tarjeta DAQ (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993) .....	105
Figura 4.6 Bloque esquemático de un CDA (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993) .	106
Figura 4.7 Tiempo de asentamiento y razón de cambio (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993).....	106
Figura 4.8 Puerto y líneas digitales (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993).....	110
Figura 4.9 Puerto y líneas digitales (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993) .....	111
Figura 4.10 Transferencia de datos desde un scanner hacia el puerto de una PC o hacia una tarjeta DAQ.....	112
Figura 4.11 Transferencia de datos desde un puerto paralelo (PC o tarjeta DAQ) hacia una impresora (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993).....	112
Figura 4.12 Modelo básico de un contador (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993) ..	113
Figura 4.13 Sistema de adquisición de datos basado en PC (Fuente: National Instruments) .....	115
Figura 4.14 Sistema de medición tradicional (Fuente: Propia).....	117
Figura 4.15 Equipo PXI-1031 (Fuente: National Instruments).....	119
Figura 4.16 Tarjeta DAQ PXI-6528 (Fuente: National Instruments) .....	120
Figura 4.17 Tarjeta DAQ PXI-6220 (Fuente: National Instruments) .....	120
Figura 4.18 Tarjeta DAQ PXI-6722 (Fuente: National Instruments) .....	121
Figura 4.19 Sistema Control y monitoreo PXI 1031 (Fuente: Propia).....	121
Figura 4.20 Sistema PXI (Fuente: Propia).....	122
Figura 4.21 Bloque de conexión (Fuente: Propia) .....	122
Figura 4.22 Conexión mediante DB15, DB25 y DB37 (Fuente: Propia).....	123
Figura 4.23 Configuración de las tarjetas dentro del sistema de la PC (Fuente: Propia).....	127

## INDICE DE FIGURAS

Figura 4.24 Panel de prueba dentro del programa "Measurements and Automation" para las funciones de las tarjetas DAQ (Fuente: Propia) .....	128
Figura 4.25 Diagrama de bloques del Sistema de adquisición de Datos (Fuente: Propia).....	128
Figura 5.1 Panel frontal (interfaz de usuario) del VI llamado "Monitoreo de Temperatura.vi" (Fuente: Propia) .....	131
Figura 5.2 Diagrama de Bloques (código fuente en modo gráfico) del VI llamado "monitoreo de Temperatura.vi" (Fuente: Propia) .....	132
Figura 5.3 Panel frontal y diagrama a bloques del SubVI "Termometro.vi" (Fuente: Propia).....	135
Figura 5.4Menú de controles e indicadores en el panel (Fuente: Propia) .....	137
Figura 5.5 Submenú del botón numérico (Fuente: Propia).....	138
Figura 5.6 Colocación de un objeto en el panel (Fuente: Propia).....	139
Figura 5.7 Ejemplo de un menú de configuración para controles e indicadores (Fuente: Propia) .....	139
Figura 5.8 Submenú de controles e indicadores booleanos y submenú de indicadores gráficos (Fuente: Propia).....	140
Figura 5.9 Objetos en el panel y sus correspondientes terminales de conexión en el diagrama (Fuente: Propia).....	141
Figura 5.10 Panel de herramientas (Fuente:Propia) .....	142
Figura 5.11 Conexión de terminales (Fuente: Propia).....	142
Figura 5.12 Menú de Funciones con el submenú de Estructuras (Fuente: Propia) .....	144
Figura 5.13 Algunos botones del menú de Funciones (Fuente: Propia).....	144
Figura 5.14 Pantalla de bienvenida del SIMPCAR (Fuente: Propia) .....	147
Figura 5.15 Pantalla de Chequeo del Sistema <i>Check.vi</i> (Fuente: Propia).....	147
Figura 5.16 <i>Reset.vi</i> (Fuente: propia).....	148
Figura 5.17 Archivo CONF.cfg en directorio raíz (Fuente: Propia) .....	149

## INDICE DE FIGURAS

Figura 5.18 Panel frontal “Load.vi” donde se carga el archive de configuración (Fuente: Propia) .....	150
Figura 5.19 Mensaje de aviso (Fuente: Propia).....	150
Figura 5.20 login.vi (Fuente: Propia) .....	152
Figura 5.21 Panel del instrumento SIMPCAR.vi (Fuente: Propia).....	153
Figura 5.22 Tabla de Gases (Fuente: propia).....	155
Figura 5.23 Pantalla de MFC Calibración (Fuente: Propia).....	158
Figura 5.24 Asignación de Puertos (Fuente: Propia).....	159
Figura 5.25 Panel frontal de la pantalla PID HOLD (Propia) .....	160
Figura 5.26 Panel PID RAMP (Fuente: Propia) .....	161
Figura 5.27 Panel frontal del Sistema (Fuente: Propia).....	162
Figura 5.28 Tabla de Metales (Fuente: Propia).....	163
Figura 5.29 Aborto del Sistema (Fuente: Propia) .....	164
Figura 5.30 Definición del experimento (Fuente: Propia) .....	164
Figura 5.31 Panel frontal de Tratamiento (Fuente: Propia) .....	166
Figura 5.32 TP Flush (Fuente: Propia).....	167
Figura 5.33 TP Desorción (Fuente: Propia).....	168
Figura 5.34 TP Reducción (Fuente: Propia).....	169
Figura 5.35 Panel frontal de TP Oxidación (Fuente: Propia).....	170
Figura 5.36 TP Reacción (Fuente: Propia).....	171
Figura 5.37 Pulso de quimisorción (Fuente: Propia) .....	172
Figura 5.38 Pulso de calibración (Fuente: Propia) .....	173
Figura 5.39 Prueba de fugas (Fuente: Propia) .....	174
Figura 5.40 Panel frontal de Calendarización (Fuente: Propia).....	175
Figura 5.41 Archivo de definición (Fuente: Propia) .....	176

## INDICE DE FIGURAS

Figura 5.42 Calendarización del experimento (Fuente: Propia) .....	177
Figura 5.43 Datos de la muestra (Fuente: Propia) .....	178
Figura 5.44 Archivo de datos de calendarización (Fuente: Propia) .....	178
Figura 5.45 Indicador de pantalla de calendarización encendido (Fuente: Propia) .....	179
Figura 5.46 Experimento en proceso (Fuente: Propia).....	180
Figura 5. 47 Archivos de datos del experimento (Fuente: Propia).....	181
Figura 5.48 Condiciones iniciales en el sistema y enfriamiento del horno (Fuente: Propia).....	182
Figura 5.49 Análisis de los datos (Fuente: Propia).....	183
Figura 5.50 Diagnostico del sistema. MFC's (Fuente: Propia) .....	185
Figura 5.51 Diagnostico del sistema. Hornos (Fuente: Propia) .....	186
Figura 5.52 Diagnostico del sistema. TCD (Fuente: Propia) .....	187
Figura 5.53 Diagnostico del sistema. Válvulas solenoides (Fuente: Propia) .....	188
Figura A. 1 Diagrama de bloques SIMPCAR. Condiciones Iniciales (Fuente: Propia).....	196
Figura A. 2 Diagrama de bloques SIMPCAR. Comunicación I/O y Watch Dog (Fuente: Propia) .....	197
Figura A. 3 Diagrama de bloques SIMPCAR. Indicadores de válvulas solenoides (Fuente: Propia) .....	198
Figura A. 4 Jerarquía de los subVI's del SIMPCAR (Fuente: Propia).....	199
Figura A. 5 Diagrama para determinar el voltaje se salida del MFC (Fuente: Propia).....	205
Figura A. 6 Calculo de flujo volumétrico (Fuente: Propia) .....	206
Figura A.7 Actuadores multiposición (Fuente: Propia) .....	207
Figura A. 8 Diagrama de tiempos (Fuente: Propia) .....	209

## INDICE DE FIGURAS

Figura A.9 Palabra de control para los actuadores MPVC y MPVS (Fuente: Propia) .....	210
Figura A. 10 Espera de 0.5 segundos (Fuente propia).....	210
Figura A.11 Habilitación de 500mili segundos o 0.5 segundos para el actuador MPVC (Fuente: Propia) .....	210
Figura A. 12 Habilitador a su estado anterior (Fuente: Propia) .....	211
Figura A. 13 Movimiento del siguiente actuador (MPVS) (Fuente: Propia) .....	211
Figura A. 14 Conversión de voltaje a temperatura mediante polinomio (Fuente: Propia).....	212

## INTRODUCCIÓN

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera, cuyos objetivos principales son la investigación, el desarrollo tecnológico, la ingeniería, los servicios técnico, la capacitación, así como el otorgamiento de grados académicos, la comercialización de los resultados de la investigación, el desarrollo tecnológico y la suscripción de alianzas estratégicas y tecnológicas.

El IMP cuenta con varios laboratorios dedicados al análisis del crudo y derivados además del desarrollo de materiales útiles para la industria petrolera. Uno de estos materiales son los “catalizadores”, los cuales requieren ser caracterizados. Los catalizadores se emplean en la petroquímica para incrementar el valor comercial de los productos, o bien, eliminar compuestos indeseables o dañinos al ambiente, ya que los catalizadores modifican la velocidad de las reacciones químicas sin alterarlas. Por ello el interés en conocer sus características.

La caracterización se lleva a cabo al someter al catalizador a una serie de procedimientos similares a los que ocurren en tiempo real. Para conocer los elementos que se desprenden del catalizador, se le hace pasar por procesos de temperatura controlada de hasta 1200°C y saturación de gases como el CO<sub>2</sub>.

El proceso de caracterización en el IMP se lleva a cabo dentro del Laboratorio de caracterización de materiales (LCM) donde se encuentra el sistema de caracterización de catalizadores automatizado AMI-3.

El sistema de caracterización del LCM fue adquirido a la compañía *Zeton Altamira* (actualmente *Altamira Instruments*) en el año de 1997 bajo el nombre y modelo de AMI-3 que estuvo operando hasta el año de 2007. El AMI-3 básicamente era un sistema de tuberías, válvulas y hornos de calentamiento más un sistema de adquisición de datos (SAD) que constituía de una fuente de información para la

comunidad científica y para el Instituto dentro de los procesos de caracterización y refinación, debido a la cantidad de experimentos que se llevaban a cabo.

Debido a diferentes circunstancias el sistema de adquisición de datos presento diversos problemas de operación de hardware y software que bajo una serie de pruebas se determino reemplazarlos.

En este presente escrito de tesis titulado “Desarrollo de un sistema de operación Control y Diagnostico para el equipo de Caracterización de Materiales AMI-3” se describen las características de este nuevo SAD desarrollado en el LCM y en el área de Electrónica Analítica del IMP.

El nuevo sistema de caracterización está basado en una computadora industrial y tres tarjetas de adquisición de datos. Además una interfaz de usuario basada en lenguaje de programación LabVIEW de *National Instruments* que controla los distintos procesos y dispositivos del sistema original.

La interfaz de usuario denominada “Sistema IMP de Caracterización (SIMPCAR)” consta de las siguientes características:

- Pantalla de Control (muestra todo el sistema en forma gráfica)
- Configuración del Sistema.
- Edición de Experimentos.
- Grabación de datos crudos.
- Análisis de Datos.
- Impresión de resultados.
- Pantalla de Diagnostico.

El sistema de adquisición de datos desarrollado permite llevar a cabo todas las tareas del anterior sistema; desarrollar experimentos, elaborar archivos de datos

crudos con toda la información registrada a partir de cada experimento realizado. Al generar archivos de datos tiene la capacidad de analizar los datos y generar reportes, cumpliendo así las funciones del sistema original.

La presente tesis consta de 5 capítulos que son los siguientes:

El primer capítulo hace una breve reseña de los métodos y técnicas de caracterización de catalizadores, así como de la descripción del sistema AMI-3 y los problemas por los cuales se encontraba fuera de servicio.

EL segundo capítulo presenta la descripción completa del sistema AMI-3 y los elementos que lo constituían.

El siguiente capítulo se centra en la propuesta y los elementos necesarios para la realización del proyecto. Los elementos que se conservaron y las bases para el desarrollo del nuevo Sistema de Adquisición de Datos (SAD) y la Interfaz Hombre Maquina (HMI).

El capítulo 4 describe las funciones y elementos de los SAD's. Las generalidades y propiedades de las tarjetas DAQ que se utilizaron para el desarrollo del SAD.

El capítulo 5 presenta el software bajo el cual se llevo a cabo la programación y el desarrollo de la HMI. Las cualidades y funciones de esta nueva interfaz, así como la forma en la cual se desarrollan los experimentos dentro de esta aplicación.

Por último se presentan los capítulos de conclusiones y recomendaciones en el que se detallan las principales aportaciones del trabajo dada la complejidad del problema acometido, también se identifican aspectos que han quedado por resolver y que serán objeto de posteriores estudios fuera del trabajo aquí presentado.

Deseando ante todo que el trabajo sirva como guía para nuestros compañeros que se interesan por aprender más sobre el diseño y la implementación de SAD's.

# OBJETIVOS

## Objetivo general

El objetivo principal de este trabajo es la rehabilitación del sistema AMI-3, a través de el desarrollo de un nuevo Sistema de Adquisición de Datos (SAD).

## Objetivos particulares

1. Reutilizar todo el hardware (sensores, válvulas, hornos, detectores, etc.) que sea posible en el nuevo SAD.
2. Desarrollar una interfaz de usuario HMI (*Human Machine Interface*) que mediante la adquisición de nuevas tarjetas de adquisición nos permitan: controlar, adquirir y registrar el comportamiento de señales digitales y analógicas generadas por los sensores y controladores del sistema AMI -3
3. Esta interfaz grafica permitirá al usuario:
  - Definir y calendarizar experimentos.
  - Realizar un diagnostico del sistema.
  - Recopilar datos para un posterior análisis.
  - Generar reportes de resultados.
  - Guardar la información mediante archivos de datos y de configuración en la computadora industrial.

## JUSTIFICACION

En el mercado existen sistemas de instrumentación y control dedicados a la caracterización de materiales. El costo de los sistemas de instrumentación es elevado y la operación de cada uno depende de ciertos factores, como son, su constitución, tamaño y fabricante. En otras palabras, la compatibilidad depende de la marca, aunque su función primordial siga siendo el de ejecutar, monitorizar y recopilar datos.

En el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) la mayoría de los sistemas de instrumentación están basados en Sistemas de Adquisición de Datos (SAD) que se encuentran en los analizadores de los laboratorios. Los analizadores cuentan con interfaces desarrolladas en el lenguaje de programación G bajo la plataforma de LabVIEW. Este lenguaje es conocido por ingenieros del área de Electrónica Analítica, misma que se encarga de proporcionar mantenimiento preventivo y correctivo a los sistemas e instrumentos analíticos, entre ellos el AMI-3.

El área de Electrónica Analítica además de contar con aparatos de diagnóstico y medición, cuenta con la versión 8.5 de LabVIEW con la cual se pueden desarrollar gran diversidad de aplicaciones de instrumentación para propósitos de análisis.

El desarrollo de un sistema de caracterización basado en LabVIEW, reduciría considerablemente los costos que se generarían en la adquisición de otro equipo de análisis. Además, se contaría con la base para el desarrollo de futuras aplicaciones para este u otro sistema basado en LabVIEW.

Debido a que el problema crítico se encuentra en la adquisición de datos, la propuesta se centra en la implementación de un nuevo sistema de adquisición de datos y el desarrollo de una Interfaz Hombre Maquina, que se acople al sistema de caracterización del sistema original AMI - 3. El nuevo sistema generará grandes beneficios a largo plazo, ya que se contará con un software que brindará la posibilidad de crecer y expandirse.

## CAPITULO 1: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

En este capítulo se expone de manera general la importancia en la refinación del petróleo mediante la utilización de catalizadores y las técnicas de caracterización empleadas en los catalizadores. Por último se presenta de manera general el sistema AMI-3 y los problemas por los cuales se encontraba fuera de servicio.

### 1.2 Catalizadores

El desarrollo de la ciencia y la tecnología de las últimas décadas ha estado indudablemente ligado a la industria del petróleo, debido a la gran cantidad de materiales que se obtienen de está. Sin embargo, este desarrollo hubiera sido prácticamente imposible si no se hubiera tenido en cuenta la catálisis <sup>(1)</sup>.

El petróleo crudo es una mezcla de hidrocarburos (combinaciones de carbono e hidrogeno) con pequeñas cantidades de compuestos de azufre, nitrógeno y metales como: vanadio, níquel, sodio y otros, consideradas impurezas del petróleo, las cuales afectan su calidad <sup>(2)</sup>. El crudo, tal como es extraído del subsuelo, tiene poco uso por lo que es necesario refinarlo.

La refinación comprende una serie de procesos de separación, transformación y purificación, mediante los cuales el petróleo es convertido en productos útiles con innumerables usos, que van desde la simple combustión en una lámpara hasta la fabricación de productos intermedios, que a su vez, son las materia prima para la obtención de otros productos industriales, como la gasolina <sup>(3) (4)</sup>.

Los procesos de refinación del petróleo pueden clasificarse en dos grandes grupos <sup>(1) (2) (3) (4)</sup>.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

**Separación.** Consiste en separar el crudo en diferentes fracciones de petróleo, de acuerdo con su temperatura de ebullición. Para ello se emplean procesos físicos como: destilación atmosférica y destilación al vacío. En este proceso aproximadamente el 75% de los compuestos son volátiles quedando un residuo asfáltico en el fondo. La fracción volátil se separa en orden decreciente del proceso de ebullición: 1) hidrocarburos gaseosos (metano o butano), 2) gasolina ligera, 3) gasolina pesada o nafta, 4) Keroseno, 5) gasóleo ligero, 6) gasóleo pesado

**Conversión.** Generalmente los productos obtenidos en la separación no son suficientes en calidad ni cantidad para los requerimientos actuales. Por tanto se requiere transformar estos productos en otros de uso más conveniente. La mayoría de los procesos de transformación o craqueo del petróleo son catalíticos (90%). Los procesos de craqueo consisten en transformar los componentes del petróleo mediante reacciones químicas, por acción del calor y en general, con reformación y desintegración, para reducir las impurezas del petróleo y obtener hidrocarburos de mayor valor comercial.

El craqueo catalítico es un fenómeno donde intervienen sustancias llamadas catalizadores, estos determinan la velocidad de las reacciones químicas que se producen sin alterarlas. Sin su presencia, las reacciones químicas ocurrirían de una forma muy lenta o nunca ocurrirían, por razones de tipo termodinámico <sup>(5)</sup>.

La estructura de los catalizadores es generalmente complicada, pues contienen partículas de metal de varios tamaños y formas dispersas de manera aleatoria sobre la superficie. Dicha complejidad dificulta la comprensión del funcionamiento de los catalizadores. Por esta razón, existe una gran motivación para preparar catalizadores sólidos con estructuras lo suficientemente simples y uniformes que permitan su estudio detallado para así comprender su funcionamiento de manera fundamental.

### 1.3 Técnicas de caracterización

Para determinar la estructura y comportamiento de los catalizadores, se emplean varias técnicas y métodos que permiten obtener información fisicoquímica del catalizador. La caracterización fisicoquímica de los catalizadores permite cuantificar la efectividad de los métodos de separación utilizados.

Existen diversas técnicas para caracterizar un material, dependiendo de la información específica que se desea obtener. Un ejemplo de las técnicas de caracterización de mayor utilidad se presenta a continuación <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup>.

**Espectroscopia Raman.** La espectroscopia Raman es una técnica fotónica de alta resolución que proporciona en pocos segundos información química y estructural de casi cualquier compuesto orgánico o inorgánico, permitiendo así su identificación. El análisis mediante espectroscopia Raman se basa en el examen de la luz dispersada por un material al incidir sobre él un haz de luz monocromático (Figura 1.1). Una pequeña porción de la luz es dispersada inelásticamente experimentando ligeros cambios de frecuencia que son característicos del material analizado e independiente de la frecuencia de la luz incidente. Se trata de una técnica de análisis que se realiza directamente sobre el material sin necesidad de ningún tipo de preparación especial y que no conlleva ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis, es decir, es no-destruktiva <sup>(3)</sup>.

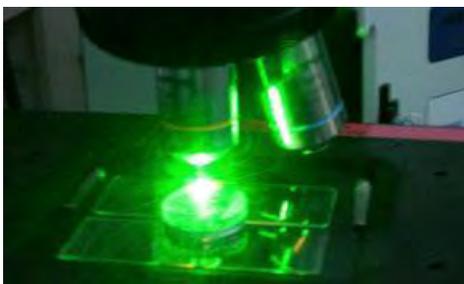


Figura 1. 1 Espectroscopia Raman (Fuente: Instituto de Carboquímica ICB )

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

**Difracción de Rayos X.** La difracción de Rayos X está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable con la longitud de onda de la radiación, siendo este el caso que ocurre cuando una radiación de Rayos X incide en una muestra cristalina (Figura 1.2). Puesto que existe ordenamiento y una distribución atómica, el haz difractará en direcciones precisas que son función de la composición de la muestra que se estudia. Su aplicación fundamental es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina, aunque adicionalmente es posible determinar parámetros tales como el tamaño de grano, estructura cristalina, parámetro reticular, etc <sup>(8)</sup>.



Figura 1. 2 Difracción de Rayos X (Fuente: ICB)

**Microscopia electrónica de barrido.** Es una de las técnicas más versátiles para la visualización y el análisis de las características microestructurales de muestras solidas, debido, principalmente, a su elevada resolución (alrededor de 2nm) y a su gran profundidad de campo, lo que permite una visualización tridimensional de la muestra mediante análisis de una señal emitida y su presentación en un monitor de computadora (Figura 1.3). Esta técnica tiene aplicaciones en diferentes campos de la investigación científica como la Biología, la Química, la Metalurgia, etc <sup>(9)</sup>.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES



Figura 1. 3 Microscopia electrónica de barrido (Fuente: ICB)

**TPR/TPO/TPD.** Es un sistema analizador totalmente automático que permite realizar reacciones de quimisorción a temperatura programada, permitiendo el estudio de reacciones catalíticas bajo sus condiciones reales de trabajo. Se puede obtener información sobre las propiedades físicas de catalizadores, soportes de catalizadores y otros materiales: superficie de metal activa, acidez superficial y distribución y fuerza de los sitios activos (Figura 1.4). El equipo permite llevar a cabo experimentos de desorción a temperatura programada, reducción a temperatura programada y oxidación a temperatura programada.

El AMI-3 empleaba esta técnica como base de sus experimentos.



Figura 1.4 TPR/TPO/TPD (Fuente: ICB)

### 1.4 Sistema AMI-3

El AMI-3 es un sistema de caracterización por temperatura programada que permitía llevar a cabo una serie de experimentos para conocer las características físicas de catalizadores en base a la técnica TPD/TPO/TPR.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

El proceso de caracterización por Temperatura Programada (TP) consiste en experimentos mediante los cuales se coloca una muestra del catalizador en un reactor de cuarzo, el cual se encuentra dentro de un horno donde la temperatura se incrementa de forma programada y se hace pasar algún flujo de gas de tratamiento conocido y constante. Mediante el incremento de la temperatura y el flujo de gas, la muestra experimenta reacciones debido a las condiciones termodinámicas, como reducción, oxidación y desorción. Después del tratamiento al catalizador, los elementos desprendidos son arrastrados por medio de un flujo de gas inerte hacia el detector de conductividad térmica o TCD (Thermal Conductivity Detector). Véase figura 1.5.

El TCD determina en base a la conductividad térmica los elementos presentes en el flujo de arrastre. Durante el proceso el TCD genera señales eléctricas que son filtradas, amplificadas y registradas mediante un Sistema de Adquisición de Datos (SAD).

El SAD permite la comunicación directa entre el sistema de caracterización y el operador mediante un Interfaz Hombre Maquina o HMI (Human Machine Interface), que se comunica con el SAD, para monitorear, controlar, analizar y generar reportes.

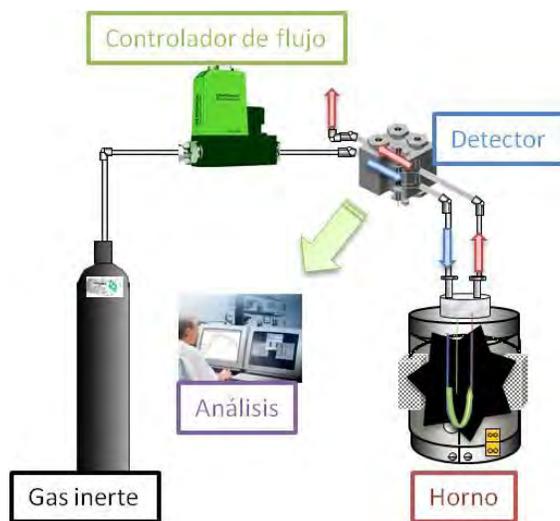


Figura 1. 5 Proceso de caracterización, fase de análisis (Fuente: Propia)

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

Entre los experimentos de caracterización que realizaba el AMI-3, podemos clasificarlos en dos grupos:

### **Experimentos preparatorios**

En estos procedimientos la muestra es sometida a un flujo constante de gas de “tratamiento” o preparatorio, durante el cual se desarrolla una rampa lineal de temperatura y se induce en la muestra un flujo volumétrico constante de gas. El aumento en la temperatura y el flujo de gas se utilizan para calcinar, purgar o reducir la muestra. En este caso ningún dato es recolectado o archivado, por tanto, no se analiza la muestra.

### **Experimentos de Análisis**

Durante estos procedimientos puede o no existir un procedimiento preparatorio y adicional, pero en cualquier caso el siguiente procedimiento (análisis) se dedica a registrar las reacciones de la muestra. Estas reacciones en la muestra dependen del tipo de gas que se utiliza.

El gas puede hacer reaccionar la muestra de distintas maneras (oxidar o reducir), según las condiciones.

Durante el análisis, se hace pasar un flujo de gas constante sobre la muestra mientras la temperatura se incrementaba en forma de una rampa lineal, produciéndose así la reacción de la muestra, después los elementos desprendidos en la reacción son arrastrados hacia el TCD por medio de un flujo de gas inerte generando una señal analógica que puede ser medida y cuantificada. Los valores de la señal analógica se registran, generando un archivo, para después graficar y analizar los elementos presentes.

El medio que utilizaba el AMI-3 para realizar los experimentos era una Interfaz Hombre Maquina o HMI (Human Machine Inteface) desarrollada en MSDOS. Esta interfaz estaba instalada en un computadora IBM PC, la cual tenía comunicación con el sistema de caracterización, mediante el modulo de adquisición de datos

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

Keithley 575, que contaba con tarjetas de adquisición instaladas en la PC y en el mismo Keithley.

La aplicación o HMI contaba con la capacidad de monitorear, controlar, diagnosticar y recopilar información de todos los dispositivos del sistema mediante distintas pantallas. Estas pantallas, desarrollaban, ejecutaban y calendarizaban una serie de procedimientos llamados “experimentos”. Las distintas pantallas, mostraban información en tiempo real de los dispositivos del sistema de caracterización como: temperatura de los hornos, posición de los actuadores, estado de las válvulas, valor de flujo, etc. Los distintos dispositivos, podían diagnosticarse por medio de estas pantalla en especial un pantalla específicamente de diagnostico.

La integración de la HMI, el modulo de adquisición de datos Keithley 575 permitían la comunicación entre el operador y el sistema de caracterización.

### ***1.5 Descripción general del problema***

En el año de 1997 el Instituto Mexicano del Petróleo adquirió para el Laboratorio de Caracterización de Materiales el sistema AMI-3, un sistema de caracterización de catalizadores. El sistema desarrollado por Altamira Instruments solo se fabricaba sobre pedido y de manera casi artesanal, tanto así que para ese año solo existían siete en el mundo <sup>(10)</sup>.

Con el paso de los años el AMI-3 presento diversos problemas de hardware y software cada vez más graves. Problemas que iban desde fallas en la fuente de alimentación de la PC, hasta problemas de software que no permitían guardar los datos recolectados en el proceso de caracterización.

Cabe destacar que los problemas en el sistema se presentaron desde el primer momento en que el sistema fue puesto en marcha. Por ejemplo mientras no existiera algún disquete en la unidad </a:>, sin importar su contenido, el sistema no permitía el arranque del sistema operativo y por ende de la aplicación.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

La fuente de la computadora comenzó a presentar problemas al no entregar los voltajes adecuados de alimentación (Figura 1.7). Algunos componentes fueron reemplazados, pero los problemas en la fuente se hicieron cada vez más Frecuentes.

La fuente era un tipo de variación de una fuente AT. La fuente constaba de un par de conectores hacia la tarjeta madre distintos a los más comunes: uno de 3 pines y otro de 9; no eran estándar ya que regularmente las fuentes AT cuentan con un par de conectores de 6 pines cada uno, dispuestos para la conexión hacia la tarjeta madre.

Aunque conservaba las típicas características de los voltajes de salida:

+5v.....13A

+12v.....3A

-12v.....0.25A

-5v.....0.2A

Las dimensiones de la fuente original eran mucho mayores en comparación con las que conocemos en la actualidad (Figura 1.6). La forma rectangular y estrecha de la fuente ocupaba una tercera parte del chasis de la computadora.



Figura 1. 6 Fuente estándar (Fuente: Internet)

## CAPITULO 1 GENERALIDADES



Figura 1. 7 Fuente IBM PC (Fuente: Propia)

En el mercado no existía alguna fuente alimentación con dimensiones y especificaciones similares que permitieran reemplazar la fuente dañada, en otras palabras la fuente estaba descontinuada. En todos los casos las fuentes con que se intento sustituir a la original no cupieron dentro del gabinete ya que sus dimensiones eran muy diferentes al original

Entre los problemas provocados por el mal funcionamiento de la fuente, el más crítico era cuando la PC se apagaba de manera repentina y los archivos que se mantenían abiertos se perdían. Esto provoco que algunos archivos de configuración en la PC se corrompieran impidiendo el uso de la aplicación de manera adecuada, ya que algunos eran archivos que solo el fabricante conocía y manipulaba.

Debido a todos estos problemas el sistema de manera aleatoria abortaba los experimentos cuando se encontraban en ejecución, impidiendo salvar los datos que hasta el momento había recolectado y la conclusión de los mismos

Una solución inmediata fue tratar de migrar la aplicación a otra PC, para que de esa manera se siguieran llevando a cabo los experimentos en el sistema. Una PC que en base a los datos del fabricante fuera compatible con la aplicación, pero

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

debido a que la aplicación de control fue desarrollada para correr solo bajo las características de la PC original no se pudo hacer correr en cualquier otra PC.

Uno de los problemas de compatibilidad era la configuración del BIOS de la PC original. Esta configuración era muy importante, ya que, la capacidad de almacenamiento del disco duro, la memoria RAM y la ubicación geográfica del equipo debían ser correctas, ya que cualquier error en el BIOS impedía el acceso no solo a la aplicación sino también a cualquier programa que se hubiese instalado en ella.

Otro de los factores, fue el hecho de que la aplicación estaba sincronizada con la frecuencia a la cual trabaja el microprocesador de la PC original (33 MHz). Aun cuando se encontrara una PC con una frecuencia similar surgiría otro problema, la compatibilidad de los periféricos. Los drivers con los que se contaban solo eran exclusivos para la marca y modelo original de PC. Para ese año la IBM PC se encontraba descontinuada y la adquisición de alguna se hizo improbable.

Aunque se consiguieron algunos componentes similares nunca se pudo integrar un equipo que permitiera correr la aplicación de manera adecuada.

Al contactar con el fabricante para obtener una solución que permitiera poner de nuevo en funcionamiento el AMI-3, utilizando alguna otra computadora o software compatible y obtener los archivos de configuración, el fabricante solo recomendó la compra de un nuevo sistema de caracterización.

Ya que no existía alguna otra solución de parte de la compañía, se encargo la tarea de rehabilitar el sistema al área de Electrónica Analítica del IMP. Cabe mencionar que el Área de Electrónica Analítica es la encargada del mantenimiento preventivo y/o correctivo de la mayoría de los sistemas de instrumentación y aparatos analíticos que se encuentran en el IMP, además de contar con una amplia experiencia en el control y manejo de los sistemas que trabajan bajo plataformas desarrolladas en LabVIEW de la compañía National Instruments.

## CAPITULO 1 GENERALIDADES

Los siguientes capítulos describirán el sistema AMI-3 de forma extensa, la solución, propuesta y la rehabilitación del sistema de caracterización.

## CAPITULO 2: SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

### 2.1 Introducción

En este capítulo se expone de manera extendida el Sistema de caracterización AMI-3; los elementos que lo componían, su funcionamiento y utilidad.

### 2.2 AMI-3

Como se menciona anteriormente, el sistema de caracterización por temperatura programada AMI-3 (Figura 2.1), tiene como principal objetivo la determinación de algunas de las características físicas de los catalizadores.



Figura 2.1 Sistema de caracterización por temperatura programada AMI-3 (Fuente: Altamira Instruments)

El proceso de caracterización consiste en someter al catalizador a un flujo de gas, mientras que la temperatura se incrementa en forma gradual para que reaccione o

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

para que arrastre los elementos desprendidos en el pretratamiento del catalizador hacia una fase de análisis, donde por medio de un detector de conductividad térmica (TCD) se analicen los elementos desprendidos del catalizador.

Se puede decir que el TCD es de propósito general ya que responde a todo tipo de moléculas.

El TCD está formado por alambres embobinados, comúnmente conocidos como filamentos (figura 2.2). El material utilizado para construir los filamentos tiene la característica de variar su resistencia eléctrica con la temperatura. Los filamentos generalmente son de una aleación de Tungsteno-Renio.

Cada gas tiene una conductividad térmica propia y única. La conductividad térmica no es otra cosa que la habilidad que tiene una sustancia para conducir calor. Al hacer pasar el gas por el filamento se arrastra parte del calor que este emite al ser energizado. La cantidad de calor arrastrada depende de la conductividad térmica del gas que se hace pasar.

El cambio en la resistencia eléctrica de los filamentos, ante la presencia de los gases que salen de la columna, es la característica utilizada como principio de detección.



Figura 2.2 Filamento del TCD (Fuente: GOW-MAC )

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Por lo general se utilizan dos pares de filamentos para un detector. Los filamentos son fijados a un bloque que tiene maquinadas la entradas y salidas de gas (figura 2.3). Este bloque también sirve para calentarlos y mantenerlos a una temperatura fija de manera estable.

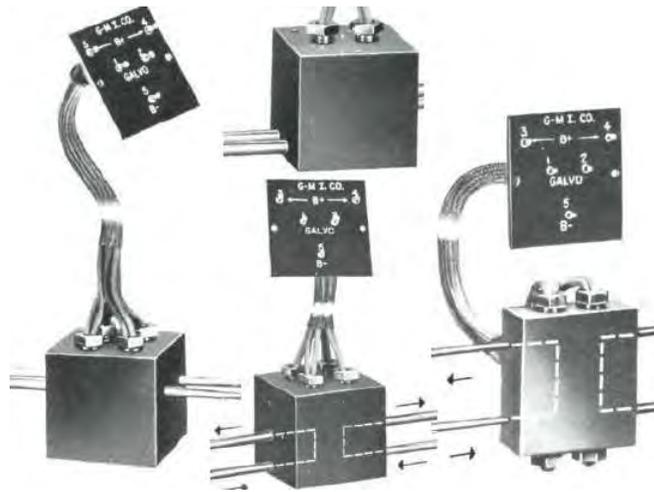


Figura 2.3 Bloque del TCD (Fuente: GOW-MAC)

Los filamentos son conectados eléctricamente en una configuración conocida como puente de Wheatstone (Figura 2.4).

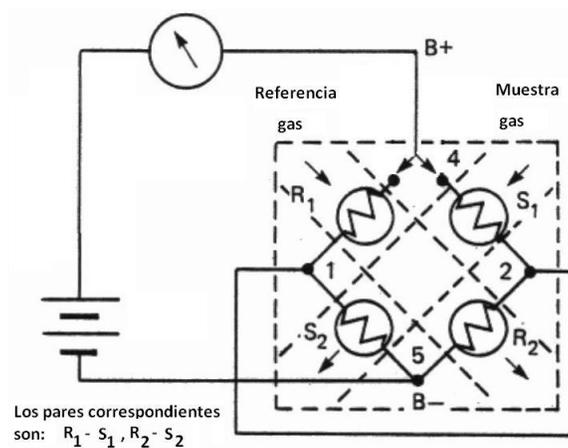


Figura 2.4 Diagrama eléctrico del TCD (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Dentro del bloque, los filamentos son acomodados en grupos de dos. Por uno de ellos solo fluye el *carrier*, mientras que por el otro, además del *carrier*, fluyen los componentes que salen de la columna.

A la sección por donde solo fluye *carrier* se le conoce tradicionalmente como referencia y a la otra sección se le conoce como la muestra.

Previo calentamiento y estabilización de la temperatura del bloque del TCD, si los filamentos son energizados, se calientan, por lo que al mantener el flujo de *carrier* constante, este acarrea calor de los filamentos también de manera constante.

Bajo estas condiciones, temperatura constante y flujo de *carrier* constante, se procede a fijar la señal eléctrica que sale del detector a un nivel muy cercano a los cero milivolts. Lo anterior no es otra cosa que balancear el puente de Wheatstone. También se le conoce como fijar el ZERO o establecer la línea base.

Mientras solo fluya *carrier* por las dos secciones del TCD el puente permanece balanceado y su señal eléctrica permanece constante.

Al momento que algunos de los componentes de la muestra se desprende y pasa por los dos filamentos que componen la sección de muestra del TCD la temperatura de estos se incrementa, provocando que su resistencia eléctrica cambie y al mismo tiempo que el puente sufra un desbalance.

La magnitud del desbalanceo y del tiempo que dure, está relacionado directamente con la concentración que el componente tenga en la muestra.

Cuando el componente que provoco el desbalanceo abandona totalmente el TCD, los filamentos recobran la temperatura que tenían y el puente queda balanceado nuevamente en espera de otro componente.

Aunque el TCD tradicionalmente se implementa con 4 filamentos, es posible encontrar versiones con TCD's de un solo filamento.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Entre los problemas tradicionales de este tipo de detectores se encuentran la inestabilidad de la línea base y la imposibilidad de ajustar el cero.

La inestabilidad de la línea base puede deberse a que la temperatura del bloque del detector es inestable también, o bien que existan fugas de gas en alguna de las conexiones.

Otra causa de inestabilidad en la línea base es la pureza del *carrier*, es decir, que dicho gas contenga impurezas que son de la magnitud suficiente para ser detectadas por el TCD. Finalmente, si la fuente de poder que alimenta al puente presenta variaciones, estas se verán reflejadas en la señal que el TCD entrega.

El otro problema frecuente en el TCD es la imposibilidad de balancear el puente o fijar el ZERO. La primera causa se debe a que alguno de los filamentos se abrió, es decir, que por alguna causa el filamento se fundió haciendo imposible que el puente pueda ser balanceado.

Los filamentos se pueden abrir por su uso prolongado al igual que cualquier foco incandescente.

La otra causa de que un filamento se abra se debe a que el puente fue energizado sin que estuviera fluyendo el *carrier*. Por este motivo es común que tengan protecciones que eviten encender el detector sin la presencia de *carrier*.

La imposibilidad de ajustar el ZERO puede deberse también a que la resistencia eléctrica de alguno de los filamentos ha variado en tal magnitud que el control utilizado para balancear el puente no sea suficiente.

Los filamentos pueden variar su resistencia después de que han sido usados durante un largo periodo de tiempo o cuando han sido utilizados para analizar muestras con componentes que los puedan corroer o atacar. En este caso es necesario sustituirlos por unos nuevos.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Si los flujos de *carrier* de referencia y de muestra son muy diferentes también puede presentarse el problema de no poder ajustar el ZERO. Es necesario verificar la magnitud de los flujos en ambos lados del detector.

La señal proveniente del TCD es conectada a un modulo que filtra y amplifica la señal, que a su vez se conecta al modulo de adquisición Keithley para generar un archivo de datos por medio de la HMI instalada en la IBM PC. En resumen, el TCD es el encargado de determinar algunas características de los catalizadores en base a los resultados que se obtengan de él. Pero el TCD es solo el elemento final del AMI-3

Para llevara a cabo una caracterización, el sistema utiliza cuatro partes principales de que está compuesto:

- Sistema de caracterización.
- Sistema de adquisición de datos Keithley 575.
- Interfaz Hombre Maquina o HMI.
- Computadora personal IBM PC.

### **2.2.1 Sistema de caracterización**

Como se observa en la figura 2.1, el sistema de caracterización es la parte del AMI-3 donde se encuentran instalados los sensores y actuadores necesarios para la realización de la caracterización. Los sensores y actuadores están conectados a sistemas de protección y comunicación, que eran monitoreados por la HMI mediante el Keithley, o en casos especiales por medio de controladores externos.

El sistema de caracterización cuenta con un sistema de tuberías que interconecta los distintos dispositivos, como son: controladores de flujo másico o MFC (*Mass Flow Controller*), válvulas solenoides, actuadores y válvulas multiposición y hornos, que permiten el control del sistema de caracterización.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Además dentro del sistema de caracterización, se encuentran módulos electrónicos y módulos de protección eléctrica, que permiten la comunicación entre el sistema de caracterización y el KEITHLEY 575, que a su vez se comunica con la interfaz instalada en la IBM PC.

Todos estos instrumentos y módulos se dividen en cuatro subsistemas:

- Sistema de tuberías.
- Sistema eléctrico.
- Sistema electrónico.
- Sistema externo

### **Sistema de Tuberías**

Las tuberías (Figura 2.5) es el conducto por el que circula el flujo de gas cuando se realiza algún experimento.



Figura 2.5 Sistema de tuberías (Fuente: Propia)

Los gases se encuentran en tanques y se conectan a un rack mediante el cual se controla su apertura, cierre y ajuste de presión. Véase figura 2.6.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3



Figura 2.6 Rack de gases (Fuente: Propia)

Estos gases pueden ser de dos tipos: gases de tratamiento o gases de *carrier*.

Aunque el sistema está hecho de tubos de acero inoxidable con la característica de soportar varias libras por pulgada cuadrada o *psi* (*pounds per square inch*) de presión, el sistema cuenta con un transductor que nos permite conocer el valor de la presión de manera preventiva, ya que el aumento de la presión supone alguna obstrucción en la tubería, que es crítica en el análisis.

Los transductores de presión se utilizan para medir la presión de tal forma que entregan una señal analógica (voltaje o corriente eléctricos) proporcional a su rango de trabajo. Esta señal analógica puede ser utilizada tanto para monitorear el valor instantáneo de la presión o para formar parte de algún sistema de control de presión.

En el caso del AMI-3, la presión es medida y desplegada mediante la HMI solo de manera informativa, aunque como se dijo antes, cuando alcanza cierto valor es indicio de que el sistema esta obstruido y por lo tanto el experimento que está corriendo debe ser abortado para resolver el problema.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

El transductor (Figura 2.7) manda una señal analógica que indica cual es el estado de la presión en la tubería, esta señal se encuentra entre los 0.1 y 5.1 volts para un rango de 0 a 100 PSI marca SETRA modelo 207.



Figura 2.7 Transductor de presión (Fuente: Propia)

Para el enfriamiento gradual de los hornos, la tubería cuenta con una fuente de aire con un filtro contra humedad y regulador de presión (Figura 2.8). Esta fuente de aire permite disminuir la temperatura una vez que los hornos han dejado de calentar y junto con otros dispositivos (figura 2.9) forman un sistema de enfriamiento de los hornos que ayuda a mantener el horno a temperatura ambiente de 25 a 30 °C.



Figura 2. 8 Filtro de aire y regulador de presión (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3



Figura 2. 9 Válvulas solenoides de enfriamiento (Fuente: Propia)

A continuación se muestra el diagrama del sistema de tuberías donde se encuentran representadas: las válvulas solenoides, denotadas como V11, V12, V13, etc.; los controladores de flujo marcados por MFC0, MFC1, MFC2 y MFC; los actuadores y válvulas multiposición (MPVC, MPVS, MPVP); el detector TCD y las estaciones donde se encuentran los hornos, EST #1, EST #2, EST #3 y CALIB, necesarios para la caracterización (figura 2.10).

CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

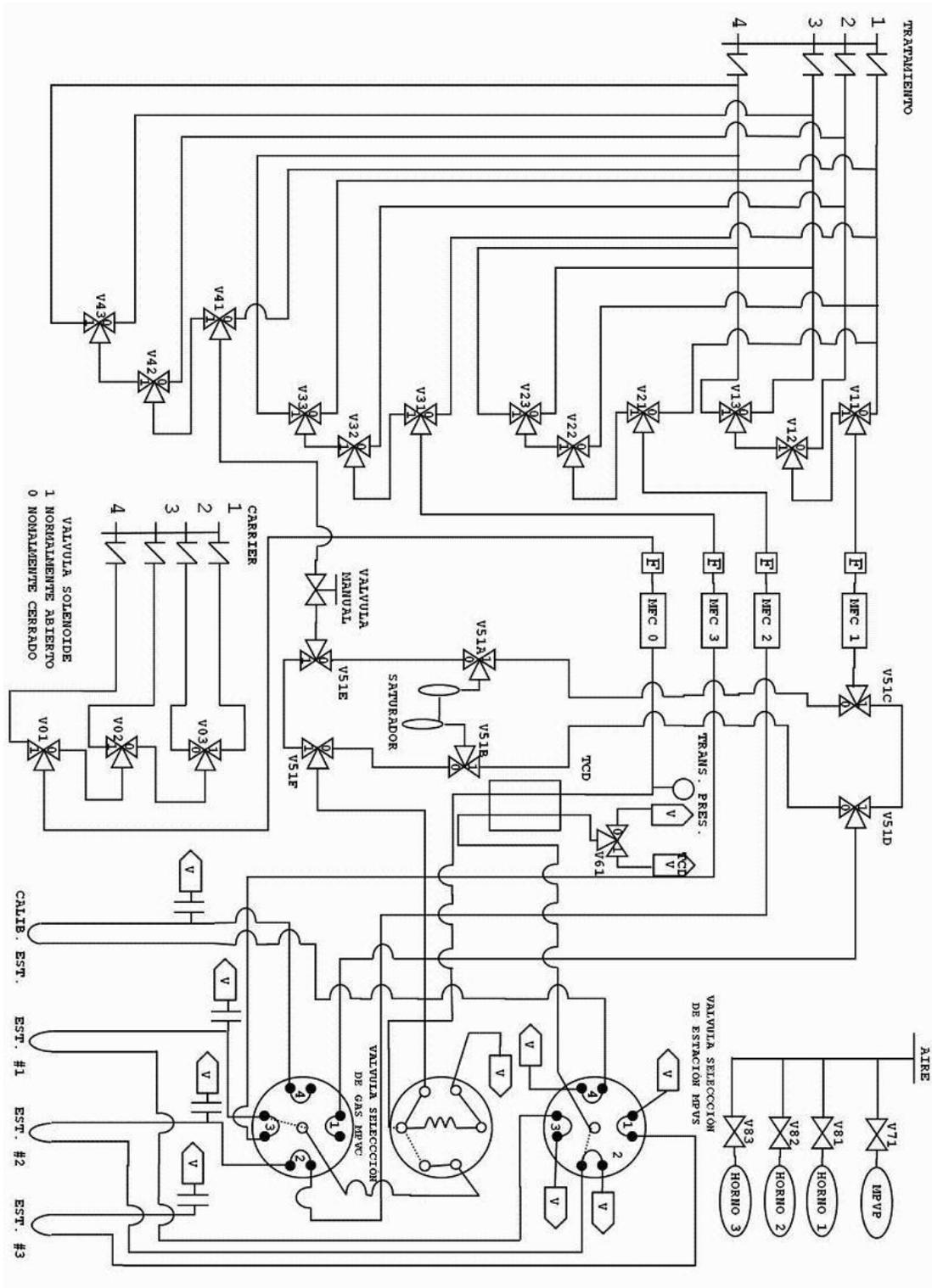


Figura 2.10 Sistema de tuberías AMI-3 (Fuente: Propia)

### **Válvulas solenoides**

Para controlar la dirección del flujo de gases se utilizan válvulas solenoides, que son accionadas eléctricamente (Figura 2.11).

Este tipo de válvulas es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada.

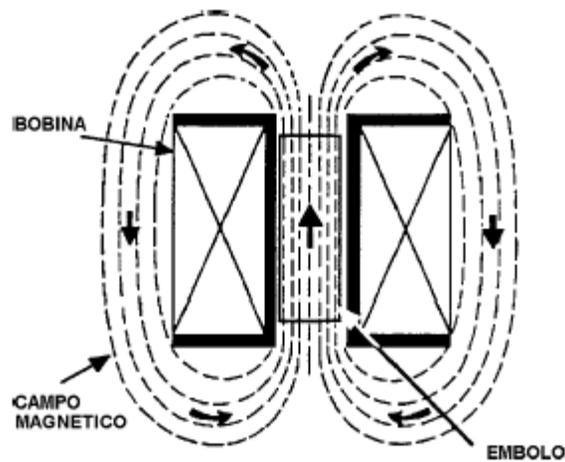


Figura 2.11 Campo producido por una bobina (Fuente: VALYCONTROL)

Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar. Véase Figura 2.12

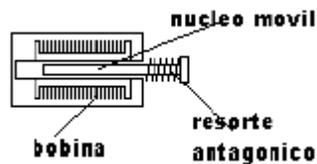


Figura 2.12 Movimiento del émbolo dentro de la bobina (Fuente: VALYCONTROL)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

En el sistema se encuentran un total de 23 válvulas solenoides que operan en forma completamente abierta, repartidas en la parte superior del chasis del equipo, con la función de seleccionar un gas en específico y encaminarlo hacia la estación requerida. El control de las válvulas se hace mediante relevadores de estado sólido que pueden ser activados por medio de señales digitales (figura 2.13).

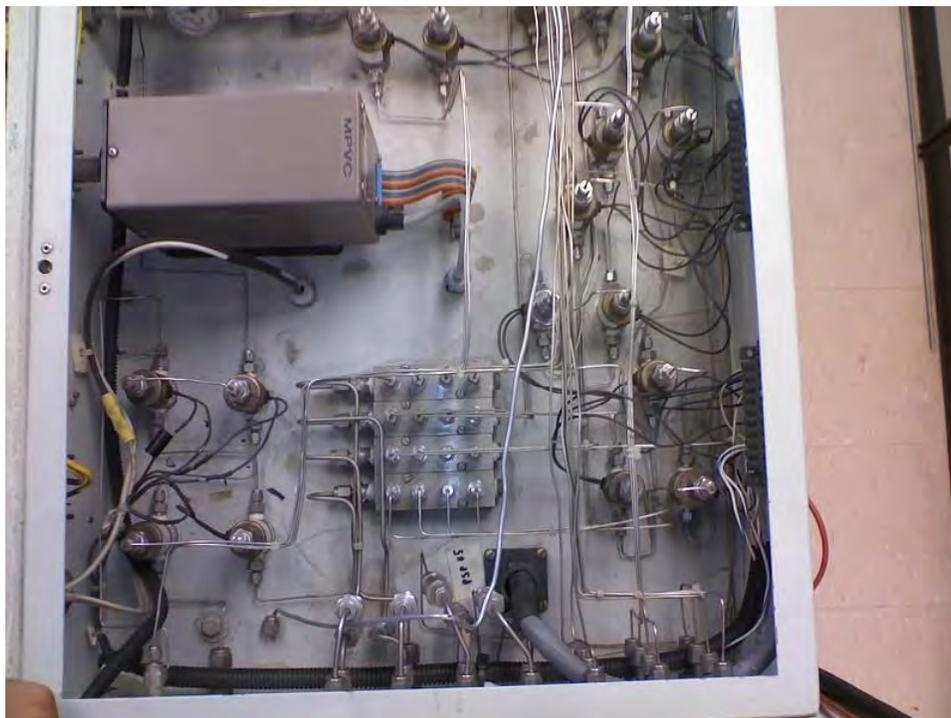


Figura 2.13 Válvulas solenoides del sistema AMI-3 (Fuente: Propia)

El Rack de gases se conecta a los puertos del sistema de caracterización, donde existen 4 puertos para gases de *Carrier* y 4 puertos para gases de Tratamiento (figura 2.14). Los cuatro puertos de cada tipo de gas, están interconectados por válvulas solenoide. Si se desea algún gas en específico, es necesario abrir o cerrar ciertas válvulas mediante un patrón específico.

Las características anteriores hacen que el usuario pueda seleccionar de manera automatizada cuatro posibilidades y sus diversas combinaciones tanto para gas de tratamiento como para gas de arrastre.

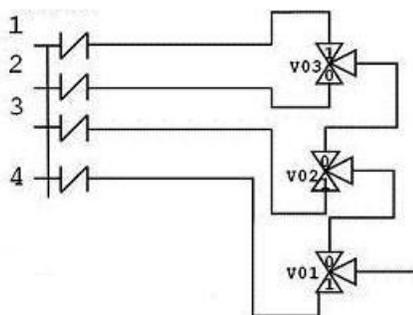


Figura 2.14 Selección de gases (Fuente: Altamira Instruments)

### **Controladores de Flujo Masico**

Para procesos de caracterización mediante TCD, es necesario controlar el flujo de gas que pasa por el analizador. El control de flujo se puede hacer de dos formas, manual o automático. En el caso del sistema de caracterización, se hace de manera automatizada auxiliándose de los MFC's.

El sistema cuenta con 4 controladores de flujo de la marca Brooks modelo 5850E (figura 2.15) con un rango de operación de 0 a 100 SCCM para Nitrógeno ( $N_2$ ), que permiten el control de salida del flujo másico de cada uno de los gases mediante señales analógicas entre 0 y 5 V DC <sup>(11)</sup>.

Un controlador de flujo másico **MFC (Mass Flow Controller)** es un dispositivo usado para controlar y medir el flujo de un gas. Este controlador está diseñado y calibrado para el control de un tipo específico de líquido o gas en un rango de caudales. Este dispositivo controla la velocidad del flujo dependiendo de la cantidad requerida. El controlador puede ser manual o automático, un controlador de flujo automático es generalmente capaz de controlar más de un cierto tipo de gas, mientras que el manual se limita al gas para el que fue calibrado.



Figura 2.15 Controladores de flujo másico (Fuente: Propia)

Todos los MFCs tienen un puerto de entrada, un puerto de salida, un sensor de flujo másico y una válvula de control proporcional. El MFC está equipado con un sistema de circuito cerrado de control que compara la señal de entrada dada por el operador (o un circuito externo / equipo) y el valor del sensor de flujo de masa y ajusta la válvula proporcional hasta alcanzar el caudal requerido. El caudal se relaciona como un porcentaje de su flujo calibrado a escala total y se provee al MFC como una señal de tensión.

### **Actuadores**

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos y/o gases presurizados y también de energía eléctrica. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores: **hidráulicos, neumáticos y eléctricos.**

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecánicos.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

En el sistema existen dos actuadores multiposición electromecánicos y un actuador de dos posiciones neumático. Los primeros dos se encuentran sincronizados para generar una ruta de tránsito entre la fuente de gas y el analizador, o en su caso el desalojo del gas por medio de venteos (figura 2.16). El último permite generar pulsos de calibración en el TCD mediante un “loop” cuyo volumen es constante y conocido.

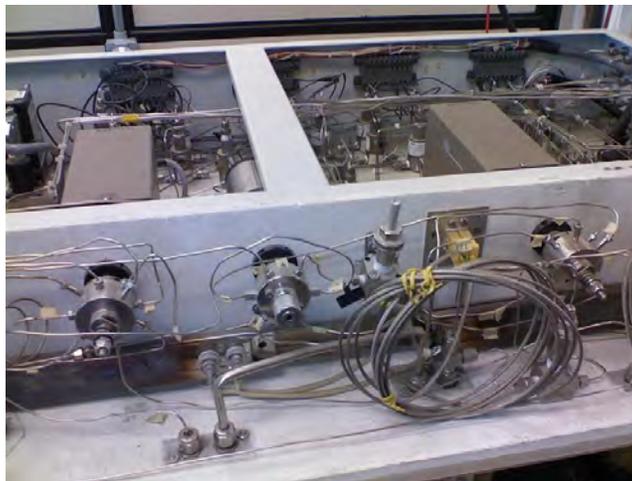


Figura 2.16 Actuadores (Fuente: Propia)

Los actuadores electromecánicos (figura 2.17) cuentan con válvulas de 4 posiciones para mantener un flujo constante en las tres estaciones y están controlados mediante señales digitales en el rango de 0 a 5 volts mediante tres bits que determinan la posición y regresa una señal digital también de tres bits, cuando la posición es alcanzada<sup>(12)</sup>.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

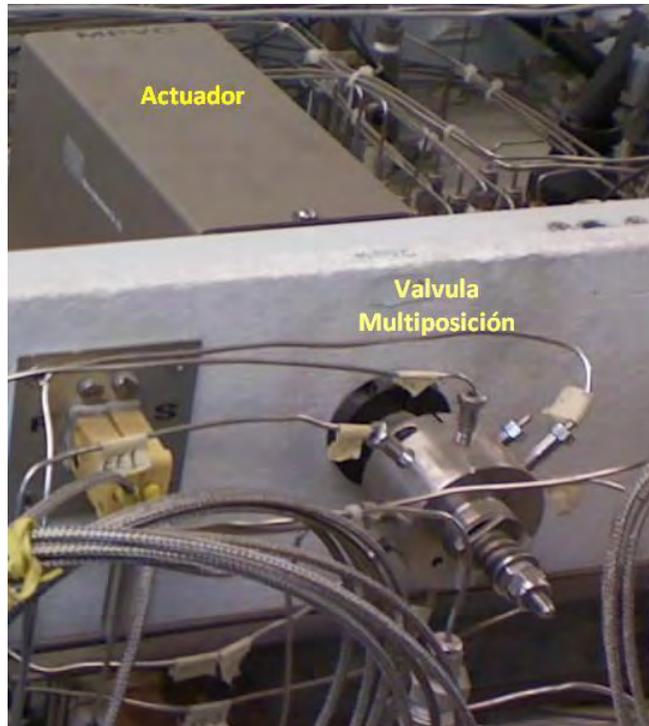


Figura 2.17 Actuador y válvula multiposición (Fuente: Propia)

El actuador de dos posiciones es un actuador neumático que funcionan mediante una fuente de aire gobernado por una válvula de dos posiciones y que regresa una señal digital cuando la válvula se mueve (figura 2.18). Principalmente se utiliza para la calibración por pulsos en el TCD, mediante *loops* de volumen conocido y una muestra también conocida <sup>(13)</sup>.

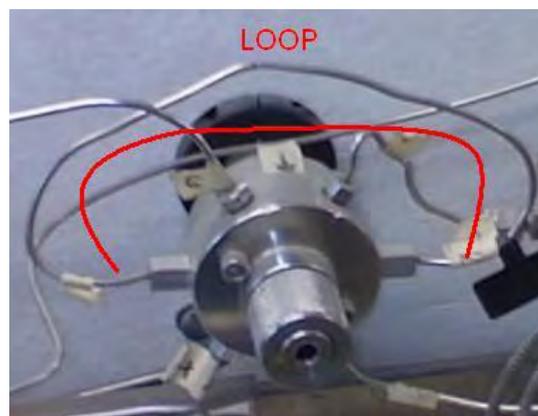


Figura 2.18 Loop (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

El *loop* de calibración es utilizado para tener una referencia de gas y volumen conocidos con los cuales comparar los resultados de materiales que se están caracterizando (figura 2.19).



Figura 2.19 Actuador neumático (Fuente: Propia)

Las señales que regresan los actuadores sirven para conocer la posición en donde se encuentran.

### ***Estaciones***

El lugar donde se coloca el catalizador y se producen las reacciones que serán registradas por el TCD, recibe el nombre de estación. La estación se encuentra constituida por un horno de calentamiento y un reactor de cuarzo donde se colocara el catalizador.

En este caso el horno, este nos permite manipular el reactor de cuarzo y el catalizador de manera completa, ya que permite una apertura de 180°.

El sistema de caracterización cuenta con tres estaciones, EST#1, EST#2, EST#3, con las que simultáneamente se pueden realizar hasta tres tratamientos de manera simultánea (figura 2.20).

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3



Figura 2.20 Estaciones y hornos (Fuente: Propia)

### Sistema eléctrico



Figura 2.21 Vista frontal del sistema eléctrico (Fuente: Propia)

Para la alimentación del sistema y los instrumentos, el sistema cuenta con una fuente de 220V AC con protecciones a través de un interruptor termomagnético (BREAKER), un interruptor de encendido manual, un contactor y un *Watch Dog Timer* (relevador por tren de pulsos). Véase figura 2.22

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

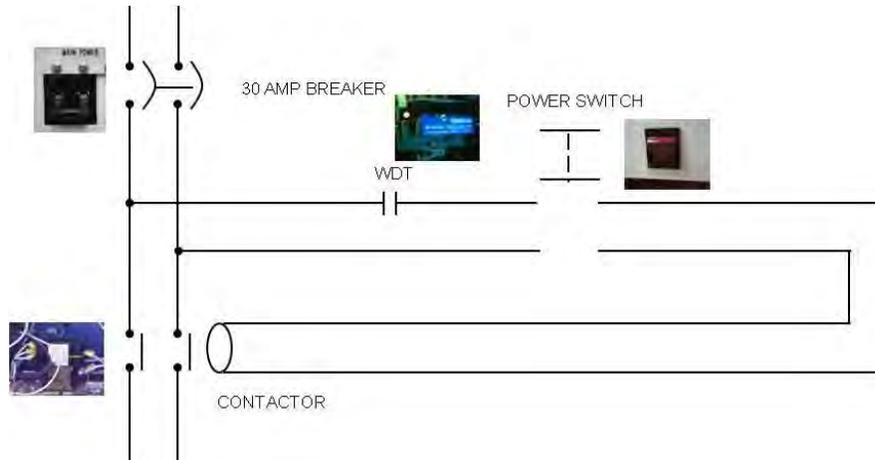


Figura 2.22 Diagrama de protección (Fuente: Propia)

El circuito de la figura 2.22 muestra la conexión del sistema y los elementos que lo conforman:

- *BREAKER* limitador de corriente con capacidad de 30 amperes que funcionaba como primer interruptor general de encendido.
- *Watch Dog Timer* (WDT) o perro guardian. Este relevador necesita una señal digital variable con frecuencia de 2 Hz para conmutar y energizar el sistema con 220V AC. Esta señal de reloj provenía de las tarjetas de adquisición instaladas en la PC. La señal de 2 Hz es de gran prioridad, ya que la ausencia de esta señal no permite energizar el sistema y por tanto ser utilizado por el operador. En el caso de que la PC se bloqueara y dejara de enviar esta señal, el sistema se des energiza para prevenir situaciones catastróficas. Esta característica permitía también que el programa por computadora cortara la energía al sistema en caso de alguna condición de peligro.
- El interruptor de alimentación *POWER SWITCH* es la forma de activar de forma manual el sistema de caracterización previamente a utilizar la HMI.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

- Cuando el sistema se enciende mediante el *POWER SWITCH* y la señal por computadora activa el WDT, el CONTACTOR se cierra permitiendo que el voltaje de alimentación sea aplicado a todo el sistema.

En otras palabras para utilizar el sistema de caracterización por temperatura programada es necesario: que el *BRAKER* se encuentre en la posición de encendido, activar el *POWER SWITCH* y mediante la aplicación HMI que corre en la PC genera el WDT (figura 2.23).

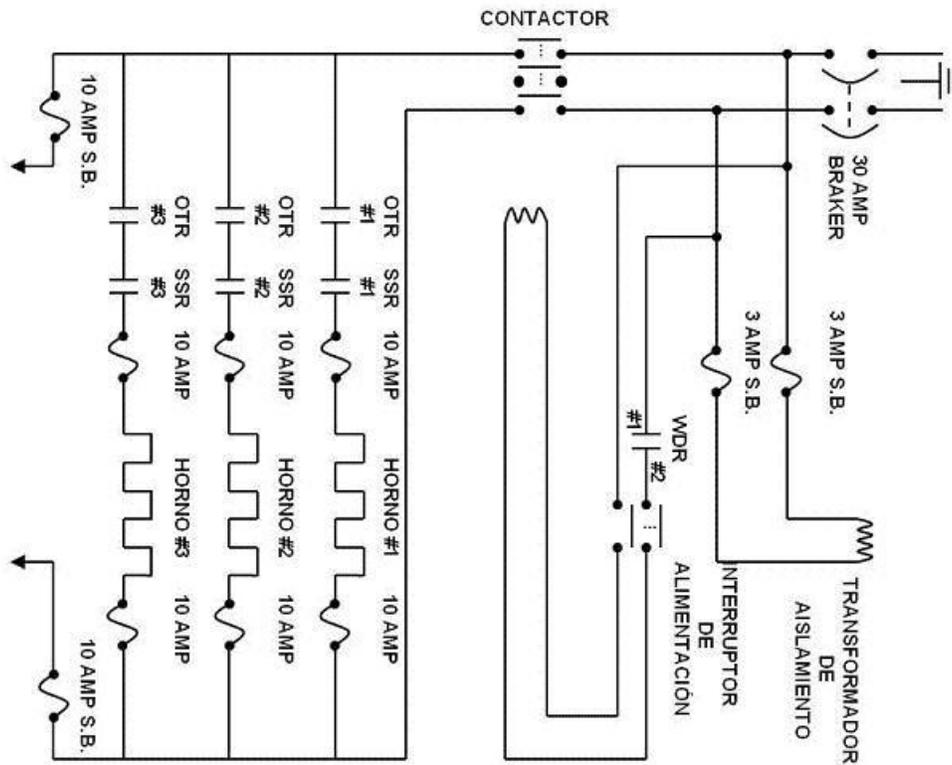


Figura 2.23 Diagrama eléctrico de los hornos (Fuente: Altamira Instruments)

La Figura 2.23 muestra el diagrama eléctrico del sistema principal y la disposición de los hornos con sus respectivos elementos de protección. Los hornos contenidos en las estaciones EST#1, EST#2 y EST#3 de sistema funcionan mediante la apertura y cierre de relevadores de estado sólido (SSR, *Solid State*

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

*Relay*) mediante señales de 5V DC que controlan el paso de la corriente de la fuente de 220V AC hacia la resistencia de los hornos.

Para controlar el valor de la temperatura se utilizaba el algoritmo de control PID, este algoritmo determinaba el tiempo que en el cual fluye corriente eléctrica sobre las resistencias de los hornos bajo un ciclo de tiempo de 5 segundos.

Por condiciones de seguridad, la activación de los hornos está limitada por relevadores de sobre temperatura conocidos como OTR (*Over Temperature Relay*), estos son relevadores electromecánicos cuya señal de control proviene de los limitadores contra sobre temperatura Watlow.

Los limitadores Watlow son independientes de la aplicación que corre en la PC y el usuario solo tiene que ajustar el límite de temperatura al cual se activara la alarma. En el caso de que sea alcanzado, los limitadores dejan de energizar a los OTR's lo que impide el paso de la corriente hacia los SSR's y en consecuencia hacia las resistencia de calentamiento.

Después de los OTR's, los fusibles de 10 amperes limitan la corriente de los hornos, como segunda protección.

El transformador de aislamiento de la figura 2.23 funciona prácticamente para convertir el voltaje de 220V AC a 110V AC para dispositivos externos o complementarios del AMI-3 (figura 2.24).

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

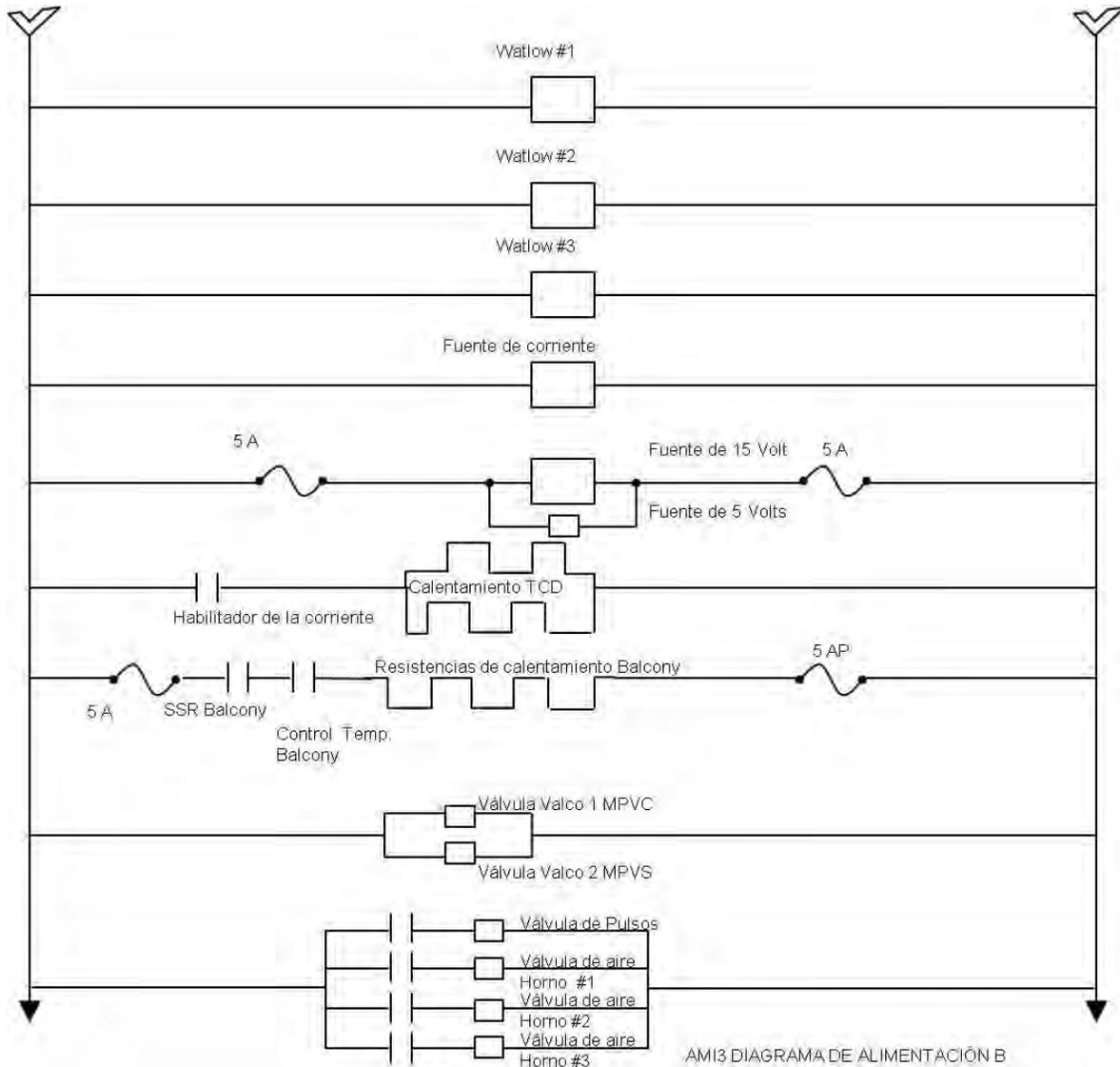


Figura 2.24 Diagrama eléctrico de fuentes, protecciones y actuadores (Fuente: Altamira Instruments)

En la figura 2.24 se observan los limitadores Watlow denotados por Watlow #1, Watlow #2 y Watlow #3, estos sensan la temperatura de los hornos de manera externa y no se monitoreaban en la HMI.

La fuente de corriente del TCD es la encargada de proporcionar la corriente que necesitaba el detector para aumentar o disminuir su sensibilidad.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Debido a que los filamentos de TCD pueden quemarse en la ausencia de gas, como forma de protección, se encuentra un SSR denotado como “Habilitador de corriente” que se habilita únicamente cuando existe gas presente detectable en el TCD.

En la tubería se encuentra un área denominada *balcony*. El *balcony* es un área de tubería por donde fluyen los gases de entrada y salida de las estaciones. Esta área mantiene una temperatura homogénea mediante resistencias de calentamiento para tratar de estandarizar las condiciones bajo las cuales el experimento se lleva a cabo y también para que el flujo del gas no se condense, ya que podría producir alteraciones en la lectura del TCD.

El control de las resistencias de calentamiento del *balcony* se realiza de manera externa mediante un control Honeywell UDC 1000 (figura 2.25) mediante el algoritmo de control PID.



Figura 2.25 Controlador de temperatura Honeywell UDC 1000 (Fuente: Propia)

Como se dijo en párrafos anteriores, existe un sistema de enfriamiento de los hornos que utiliza aire. En este sistema se utilizan válvulas que permitan o bloqueaban el flujo de aire de enfriamiento hacia los hornos. Estas válvulas están controladas mediante relevadores de estado sólido, con voltajes de 5V CD, que determinaban la circulación de la corriente de la fuente de 220V AC hacia las válvulas.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Como muestra la figura 2.23 y 2.24 todos los elementos del diagrama eléctrico eran energizados con 220V AC.

### Sistema electrónico

Entre los sistemas electrónicos interno que complementaba al Keithley y otros componentes del AMI-3, se encontraba el I/O Rack. Las señales del Keithley se conectaban hacia el I/O Rack (panel de conexiones de E/S) que se encuentra en una de las paredes laterales internas del chasis. Este I/O Rack es el modulo de control donde se encuentran una serie de SSRs que permiten abrir o cerrar las válvulas solenoides (figura 2.26).

El I/O Rack era alimentado mediante una fuente de 5V DC proveniente de las tarjetas de adquisición del Keithley para las señales lógicas de los SSRs y una fuente de 220V AC para el funcionamiento de las válvulas solenoides.

Cada SSR era controlado por salidas digitales del Keithley lo que permitía conmutar cada válvula solenoide entre normalmente abierto y normalmente cerrado.



Figura 2.26 I/O Rack (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Para llevar a cabo el análisis en las etapas de los procedimientos que así lo requieran, se cuenta con un detector de conductividad térmica TCD o Katarometro que está basado en un sistema de cambios en la resistencia óhmica de sus filamentos que se encuentran formando un puente de Wheatstone de cuatro filamentos que entran en contacto con el gas *carrier* antes de pasar por las estaciones y el gas *carrier* después de haber circulado por las estaciones, arrastrando elementos que se desprenden de la muestra y generando cambios al pasar por el TCD (figura 2.27). El cambio en las resistencia produce perturbaciones el flujo de corriente, perturbación que se registra y amplifica median un modulo electrónico que convierte la señal del TCD del alrededor de los  $\pm 100\text{mV}$  a una señal analógica de  $\pm 5\text{V}$  mediante un modulo SCM5B30.



Figura 2.27 Detector TCD (Fuente: Propia)

Para utilizar el TCD, es necesario tener una fuente de corriente que pueda variar la sensibilidad del detector, además de un flujo constante de gas *carrier*. Para esto se cuenta con una fuente de corriente ATHENA (figura 2.28), que proporcionaba una corriente ajustable de 0 a 300 mA, mediante señales analógicas en el rango de 0 - 5V DC.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Para aislar la fuente corriente, con la señal de control de corriente, se encuentra instalado un modulo SCM5B31 para aislar la señal y recibir señales de -5 a +5V DC.



Figura 2.28 Fuente de corriente Athena (Fuente: Propia)

Es primordial que exista flujo de gas en el TCD antes de energizarlo, debido a que los filamentos pueden quemarse, como sucede con una bombilla eléctrica. Para evitar esto el sistema cuenta con un modulo electrónico *Brentek Dry Relay* de protección para limitar el uso del TCD solo cuando se cumpla la condición anterior. El modulo permite conmutar la corriente que pasa por los filamentos del TCD solo cuando el valor de flujo volumétrico proveniente del controlador del gas de *carrier* es igual o mayor a los 30 CCM (centímetros cúbicos por minuto).

Para alimentar los módulos y dispositivos electrónicos existen dos fuentes indispensables:

- Una fuente de  $\pm 15$  VDC: *Power one  $\pm 15$  VDC, 1.5 A.* para alimentar los controladores de flujo másico, los controladores Honeywell y los OTRs.
- Una fuente de +5: *GS Solar Electric 5 VDC, 3.0 A.* para la alimentación del I/O Rack y para el Brentek Dry Relay del TCD.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Cuando se realiza el análisis mediante el TCD es necesario contar con la posibilidad de balancear al TCD. Un modulo electrónico SCM5B31 nos permite hacer un ZERO (balancear) la salida diferencial del TCD. En párrafos posteriores se explicara a detalle esta situación.

El SCM5B31 (figura 2.29) es un modulo de aislamiento de señal que permite un rango de entrada de -5 a 5 volts y un rango de salida de -5 a 5V.

Debido a que la señal proveniente del TCD se encuentra en el rango de los mili volts, es necesario amplificarla y para ello se cuenta con un modulo de aislamiento SCM5B30 (figura 2.29). El modulo permite amplificar la señal desde un rango de entrada de -100 a 100 mili volts, hasta un rango de salida que se encuentra entre los -5 a 5 volts para este rango de entrada.

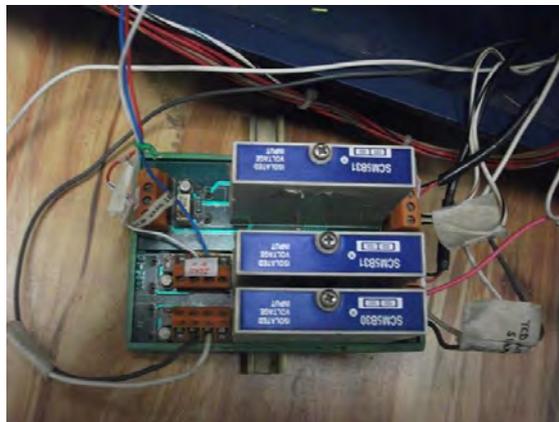


Figura 2.29 Modulo de aislamiento SCM5B30/31 (Fuente: Propia)

Para “balancear” el TCD, no se hace propiamente en el detector, lo que se hace es determinar el voltaje que entrega el detector al momento de que los flujos, temperaturas y corrientes se encuentren estables.

Un voltaje igual a la magnitud y signo obtenido bajo las condiciones anteriores es puesto, por medio de una salida analógica, a la entrada de él modulo SCM5B31 como se muestra en la Figura 2.30. El resultado de obtener la diferencia entre ambas señales es cero milivolts.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

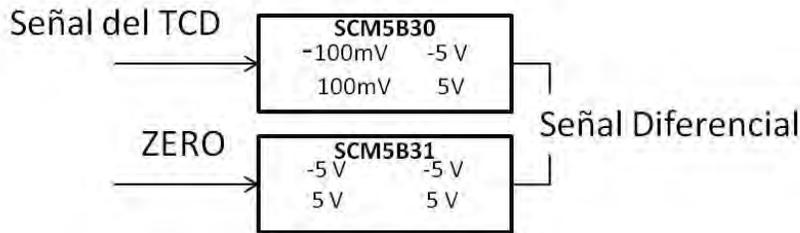


Figura 2.30 Señal diferencial del TCD (Fuente: Propia)

Después de balancearse el TCD el valor del ZERO no cambia y la señal diferencial debe ser igual a cero milivolts mientras el gas *carrier* no traiga al TCD algo que el catalizador desprenda para ser analizado.

La señal de ZERO la genera la aplicación de control del AMI-3 por medio de las salidas analógicas del Keithley y posteriormente mide la diferencia a través de sus entradas analógicas.

Para medir y/o controlar la temperatura de los hornos y de las muestras se utilizan termopares tipo K (-270°C °C-1372°C) conectados a módulos electrónicos SCMB5B37K instalados en una tarjeta SCMPB05. Los módulos, filtran, aíslan y amplifican las señales de los termopares pero no las linealizan.

A la salida de los módulos se obtiene una señal de voltaje de 0 a 5 volts proporcional al rango de trabajo del mismo. La linealización de la señal de los termopares se hace por software utilizando un VI que realiza la conversión entre tensión y temperatura aplicando un polinomio con los coeficientes estándar para su linealización.

Aunque en la realidad solo se utilizaban 6 termopares para la lectura de los hornos y de las muestras, el modulo contaba con hasta 8 entradas para termopares.

Además de contar con los termopares de los hornos el sistema cuenta con 5 termopares más. Uno de ellos para llevar a cabo el control de temperatura del TCD (figura 2.31). El segundo para mantener el sistema de tuberías en una temperatura estándar mediante el *balcony*. Los restantes 3 están conectados a

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

unos dispositivos de protección llamados *switches* de temperatura de marca Watlow, para hacer un total de 11 termopares. Estos 5 termopares se encuentran conectados a dispositivos externos ajenos al SAD y funcionando de manera independiente.



Figura 2.31 Controles de temperatura externos (Fuente: Propia)

Como mencionamos anteriormente en la parte de protección, existe un relevador lógico (figura 2.32), que permite proteger el sistema. La señal de activación del WDT provenía de la tarjeta de adquisición del Keithley cuando se ejecutaba la HMI, por tanto mientras no se ejecutara la HMI el sistema permanecía en *Standby*.



Figura 2.32 Watch Dog Timer (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Un programa que haga uso de un WDT en primer lugar deberá generarlo (dependiendo del tipo de WDT puede ser siempre generado). Tras lo cual, es necesario que el programa este generándolo de manera ininterrumpida. De esta forma, si pasado cierto tiempo el WDT no recibe la señal adecuada, supone que el programa ha perdido el control (si el programa estuviera corriendo sin problemas, seguiría enviándola) y detona acciones que generen condiciones seguras para el sistema.

Para el caso del AMI-3 cuando se corre el programa, la señal del WDT se genera mediante el software, permitiendo energizar el sistema. Cuando dicha señal no llega desde la PC al WDT en un lapso de 15 segundos, el relevador de WDT se abre y el voltaje de alimentación del sistema no energiza los dispositivos necesarios para llevar a cabo los procesos de caracterización (válvulas, controladores de flujo, TCD, etc.), como forma de protección.

En pocas palabras el WDT es un dispositivo de protección y seguridad del sistema mediante software.

Este dispositivo electrónico era alimentado por el Keithley por medio de una salida digital de 5V DC cuando se encendía el sistema.

### **Sistema externo**

El sistema externo, consiste en todos los controladores que no intervienen de manera directa en la interfaz del sistema.

Estos controladores son:

### **Control de Temperatura del TCD.**

Debido a la naturaleza del TCD, es necesario mantener una temperatura constante en él, de otra manera se corre el riesgo de que dichos cambios interfieran en los resultados de los análisis.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Es común que el TCD sea calentado a una temperatura mayor a 100°C. En el caso del AMI-3 el TCD es calentado a 120°C.

La temperatura del TCD es controlada mediante un dispositivo Honeywell UDC 1000 (figura 2.33). Este controlador realiza el control de la temperatura mediante la utilización de los algoritmos de control On/Off y PID para ajustar la temperatura normalmente a 120°C.



Figura 2.33 Control de Temperatura del TCD (fuente: Propia)

### **Control de temperatura del *balcony***

Para mantener una temperatura homogénea en la tubería, el sistema cuenta con un área llamada *balcony* que mantiene una sección específica de la tubería a una temperatura constante mediante un arreglo de resistencias de calentamiento.

Para el control de la temperatura del *balcony* se utiliza un control Tecnologic thp 48 (figura 2.34).



Figura 2.34 Control de temperatura del *balcony* K (Fuente: Propia)

### Limitadores contra sobre temperatura (*switches* de temperatura) Watlow

Estos dispositivos son netamente de protección. Los limitadores Watlow permiten interrumpir el flujo de corriente hacia los hornos cuando alcanzaban temperaturas mayores a las de un límite prefijado por el usuario, tal y como se ve en la figura 2.35.



Figura 2.35 Controladores Watlow (Fuente: Propia)

Estos limitadores cuentan cada uno con un termopar bastante robusto (figura 2.36) que mide la temperatura de los hornos. Estos termopares son de tipo K y se encuentran internamente en los hornos. Los limitadores Watlow mantienen una señal constante de salida de 15V CD hacia los OTRs, siempre y cuando la temperatura se encuentre por debajo del límite prefijado. Sí la temperatura alcanzara valores superiores a ese límite, inmediatamente los Watlow cortarían la señal a los OTR.



Figura 2.36 Localización del termopar del limitador Watlow (Fuente: Propia)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

### 2.2.2 IBM PC

La IBM PC era la computadora original del sistema de caracterización, fabricada bajo el nombre de NEC Image 433 (figura 2.37), contaba con un disco duro de 1024 MB (1 Gb), 346 MB de memoria RAM, Sistema MS DOS 5.0, Sistema Operativo Windows 3.1 y los periféricos básicos necesarios para el operador (monitor de 15", mouse y teclado PS/2). En esta computadora se encontraban instaladas algunas de las tarjetas de adquisición de datos, en ella corría la aplicación de control.

Desde esta computadora se dirigían las órdenes necesarias para que el sistema de caracterización realizara los experimentos.



Figura 2.37 IBM PC NEC 433 (Fuente: Propia)

La configuración de la computadora mediante el BIOS era esencial para el sistema. Las especificaciones en cuanto a la capacidad del disco duro, la fecha y

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

hora, el código regional, entre otras cosas eran necesarias para correr la HMI, ya que cualquier error imposibilitaba la utilización de la interfaz.

### 2.2.3 Keithley 575

El Keithley 575 (figura 2.38) era un modulo electrónico para la adquisición de datos y control de dispositivos. Este modulo contaba con tres tarjetas de adquisición: DIO1A, DA700, AMM1A<sup>(14)</sup>, que permitían la adquisición y el control de las señales del sistema de caracterización.



Figura 2.38 Keithley 575 (Fuente: Propia)

Las tarjetas de adquisición de datos se encontraban instaladas en el chasis del módulo electrónico y en la NEC Image 433(Figura 2.38 y 2.39).



Figura 2.39 Tarjetas IBM PC (Fuente: Propia)

El número de salidas y entradas, así como su función se encontraban de la siguiente manera.

### **Salidas digitales**

- 27 salidas digitales en la tarjeta DIO1A con la capacidad de controlar relevadores de estado sólido SSR (*Solid State Relay*) para el control de las válvulas solenoides, el control de la temperatura de los hornos y la señal para el Watch Dog Relay.
- 8 salidas digitales en la tarjeta madre del Keithley, para generar la palabra de control de los dos actuadores multiposición, 4 salidas digitales para cada una.
- 1 salida para la protección del TCD mediante un relevador de estado sólido (TCD Enable).
- 4 salidas digitales para el multiplexeo de la entrada analógica de los controladores de flujo másico (MFCs)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

### **Salidas analógicas**

- 4 salidas analógicas para cada uno de los comandos de los MFCs en la tarjeta DA700.
- 1 salidas analógicas en la tarjeta madre del Keithley con resolución de 13 bits (12 + 1 bit de polaridad) para fijar la corriente del TCD.
- 1 salida analógica para corregir la línea base (ZERO) del detector TCD.

### **Entradas digitales**

- 6 entradas digitales se encuentran en la tarjeta madre del Keithley con el propósito de leer la posición de los actuadores mediante palabras de control.
- 1 entrada digital para leer la posición de la válvula neumática de pulsos de dos posiciones (MPVP).

### **Entradas analógicas**

- 6 entradas analógicas simples para la lectura de las temperaturas de los hornos y las muestras con resolución de 12 bits (4096 niveles de voltaje) en la tarjeta AMM1A.
- 1 entrada analógica simples en AMM1A para la lectura de la corriente (TCD Current read)
- 1 entrada analógica para la lectura de la presión (Pressure RD).
- 1 entrada analógica para la lectura del flujo másico (MFC read) que comparten los 4 MFCs del sistema y que se encontraba multiplexada.
- 1 entrada analógica tipo diferencial para la señal del TCD

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

Todas las entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, cumplían la función de registrar y controlar los cambios físicos que ocurrían en el sistema mediante la HMI y utilizando el sistema de adquisición Keithley.

### **2.4.3 Interfaz hombre- máquina (HMI)**

La operación, control y monitoreo se llevaba a cabo a partir de una aplicación desarrollada en MS DOS con el nombre de AMI3, cuyo propósito era comunicarse con las tarjetas mediante un *driver* que traducía las ordenes de la computadora a comandos para el Keithley, permitiendo al usuario tener el control del sistema sin la necesidad de programar directamente las tarjetas de adquisición.

La interfaz de usuario del sistema estaba organizada en varias pantallas que a continuación se detallan.

#### **AMI-3 Main Menu**

La interfaz que estaba instalada en la IBM PC era el homónimo del sistema de caracterización y se llamaba AMI3. La interfaz AMI3 corría bajo MS-DOS<sup>(15)</sup>.

Para arrancar la interfaz era necesaria colocarse en el directorio raíz del disco duro C:\ y teclear AMI3, seguido de un ENTER.

Inmediatamente después de teclear aparece la pantalla de la Figura 2.40.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3



Figura 2.40 Pantalla principal (Fuente: Propia)

Esta pantalla constituía la parte central y raíz de cada una de las demás, funcionalmente servía como ruta de acceso a cada una de las pantallas de la aplicación, como son:

- Constants
- ExpDef
- ExpSched
- Stations
- Analysis
- ManualOp
- Exit

**Constants**

**Ramp PID constants screen**

Cuando se llevan a cabo rampas de temperatura en los hornos el valor de las constantes están determinados por la rapidez de cambio de temperatura, por ello existen tablas para cada una de las constantes del algoritmo PID, tal y como se ve en la Figura 2.41.

LOAD SAVE PRINT EXIT				
Low Temp Limit	High Temp Limit	P Constant	I Constant	D Constant
0	99	000.00	000.00	000.00
100	199	000.00	000.00	000.00
200	299	000.00	000.00	000.00
300	399	000.00	000.00	000.00
400	499	000.00	000.00	000.00
500	599	000.00	000.00	000.00
600	699	000.00	000.00	000.00
700	799	000.00	000.00	000.00
800	899	000.00	000.00	000.00
900	999	000.00	000.00	000.00
1000	1099	000.00	000.00	000.00
1100	1199	000.00	000.00	000.00
1200	1299	000.00	000.00	000.00

CursorKeys: <TAB>or< →>=Right <Shifl/TAB>or< ←>=Left < ↑>=Up < ↓>=Dn <ALT>=Menu

RAMP PID CONSTANTS SCREEN

Figura 2.41 Pantalla de constantes Ramp PID (Fuente: Altamira Instruments)

Esta pantalla permitía configurar las constantes PID para distintos rangos de temperatura en los hornos.

**Hold PID constants screen**

Cuando una temperatura se mantiene en espera, los valores P, I, D cambian. Las constantes de P, I, D para el algoritmo de control dependen de la estructura de cada horno. Debido a que los hornos con los que contaba el AMI-3 eran similares, las tablas funcionaban para cualquiera de ellos (figura 2.42).

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

LOAD SAVE PRINT EXIT				
Low Temp Limit	High Temp Limit	P Constant	I Constant	D Constant
0	99	000.00	000.00	000.00
100	199	000.00	000.00	000.00
200	299	000.00	000.00	000.00
300	399	000.00	000.00	000.00
400	499	000.00	000.00	000.00
500	599	000.00	000.00	000.00
600	699	000.00	000.00	000.00
700	799	000.00	000.00	000.00
800	899	000.00	000.00	000.00
900	999	000.00	000.00	000.00
1000	1099	000.00	000.00	000.00
1100	1199	000.00	000.00	000.00
1200	1299	000.00	000.00	000.00

CursorKeys: <TAB>or< →=Right <Shift/TAB>or< ←=Left <↑>=Up <↓>=Dn  
<ALT>=Menu

HOLD PID CONSTANTS SCREEN

Figura 2.42 Pantalla de constantes PID HOLD (Fuente: Altamira Instruments)

Esta pantalla permitía configurar las constantes PID para el modo HOLD.

### **Gas constants screen**

Debido a que cada gas es distinto, existen ciertos factores para cada uno de ellos. Con estos valores se hacen una serie de cálculos y se configuran las salidas analógicas para programar los Controladores de Flujo Másico (MFC) de tal forma que los flujos requeridos sean los que han programado, como se ve en la Figura 2.43.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

LOAD SAVE PRINT EXIT					
Gas Number	Inert Y/N	Gas Name	Symbol	MFC Correction Factor	Color
1	N	Air	Air	1.000	0
2	N	Hydrogen	H2	1.010	1
3	N	Helium	He	1.398	2
4	N	Nitrogen	N2	1.005	3
5	N	10%H2 in Ar	10%H2,Ar	1.359	4
6	N	Gas 6			5
7	N	Gas 7			6
8	N	Gas 8			7
9	N	Gas 9			8
10	N	Gas 10			9
11	N	Gas 11			10
12	N	Gas 12			11
13	N	Gas 13			12
14	N	Gas 14			12
15	N	Gas 15			14
16	N	Gas 16			15
17	N	Gas 17			0
18	N	Gas 18			1
19	N	Gas 19			2
20	N	Gas 20			3

CursorKeys: <TAB> or <→>=Right <Shif/TAB> or <←>=Left <↑>=Up <↓>=Dn  
<ALT>=Menu

GAS CONSTANTS SCREEN

Figura 2.43 Pantalla de constantes de gases (Fuente: Altamira Instruments)

Esta pantalla permitía editar la tabla de gases que el sistema utilizaba; dar de alta, modificar y/o eliminar los nombres y constantes de los gases. Contaba con un total de 20 espacios configurables.

### **Mass flow controller screen**

No todos los MFC's se manejan y se programan de la misma manera, así como tampoco están hechos de manera idéntica, ya que depende de la marca y modelo.

Para su configuración es necesario introducir datos como el rango, la temperatura de calibración, la presión de calibración, el gas de calibración (figura 2.44). Por ejemplo:

- Rango: 100sccm
- Temperatura de calibración: 0°C
- Presión de calibración: 760 torr o mmHg

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

- Gas de calibración: Nitrógeno.(N<sub>2</sub>)

	Temperature	Pressure	Gas	MFC Range
Treatment #1	0 C	760 torr	Nitrogen	100 cc/min
Treatment #2	0 C	760 torr	Nitrogen	100 cc/min
Treatment #3	0 C	760 torr	Nitrogen	100 cc/min
Carrier	0 C	760 torr	Nitrogen	100 cc/min

CursorKeys: <TAB>or< →>=Right <Shif/TAB>or< ←>=Left < ↑>=Up < ↓>=Dn  
<ALT>=Menu <PgUp>=PageUp <PgDn>=PgDown <F3>=GasMenu

MASS FLOW CONTROLLER SCREEN

Figura 2.44 Calibración MFC (Fuente: Altamira Instruments)

En esta pantalla se editaban todas las características de los MFC's, que en este caso eran cuatro pertenecientes a la marca Brooks.

### ***Gas port connection screen***

Los experimentos que realizaba el AMI-3 se llevaban a cabo mediante una gama de gases que cumplían la función de saturación y transporte de la muestra. Al editar la pantalla *Gas Constants Screen* (figura 2.45) los valores se cargaban en una lista que se desplegaba en cada uno de los llamados “puertos” de esta pantalla.

Contaba con 4 puertos para conectar los gases de tratamiento y 4 para gases de *carrier*, cuando se cambia cualquiera de ellos, era necesario indicárselo al sistema de control mediante esta pantalla. Lo anterior con el fin de cargar las variables adecuadas para el nuevo gas.

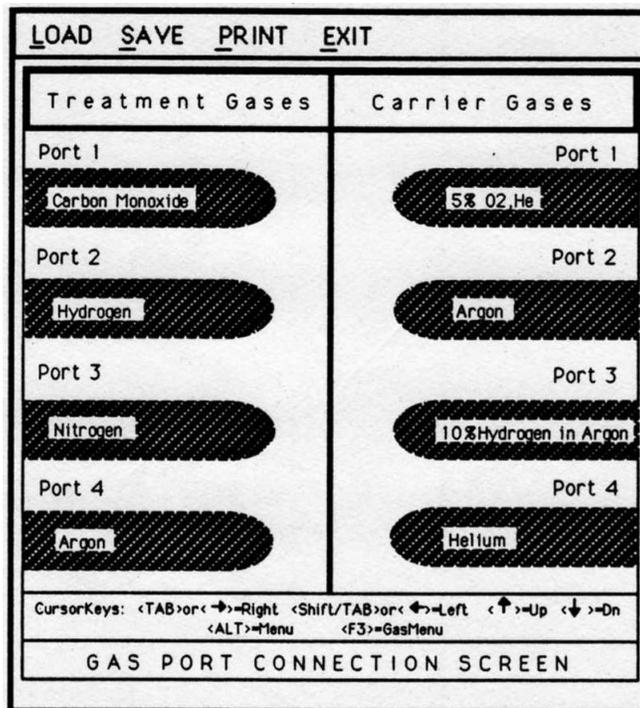


Figura 2.45 Pantalla de selección de puertos (Fuente: Altamira Instruments)

Esta pantalla permitía seleccionar y verificar que gas se encontraba conectado en cada uno de los puertos.

### **System Configuration Screen**

Esta pantalla de configuración (figura 2.46) permitía la configuración de las variables del sistema tales como:

- Las carpetas en las cuales se guardaban los distintos archivos de cada experimento (*Experiment path, Data path, Analysis path*).
- Las constantes geográficas como temperatura y presión, ya que son un factor importante cuando se utilizan gases en el proceso de caracterización. Debido a que la densidad de los gases cambia cuando la presión aumenta o disminuye, lo mismo les sucede con la temperatura, y es necesario compensar estos valores cuando se utiliza flujo másico de gas y además se traslada el equipo a otro lugar.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

- La tubería así como todo lo que se encuentra a su alrededor no siempre se encuentran a la misma temperatura debido a las formas que toma esta para llevar los gases a sus diferentes destinos. Una manera de tratar de tener la temperatura en un rango adecuado es mediante un *balcony*. El valor de la temperatura del *balcony* era un recordatorio para programar el controlador de temperatura externo Honeywell.
- La frecuencia del CPU es necesaria debido a que los procesos internos de la HMI dependía de esta frecuencia, por ejemplo, para realizar señales de reloj (WDT), para realizar la calendarización de los experimentos, realizar rampas de temperatura, etc.
- El tamaño del *loop* puede variarse dependiendo del proceso de cromatografía y sirve para la calibración del TCD, así como para los cálculos realizados en el análisis final.
- El tiempo base del control de temperatura PID, la banda de tolerancia de temperatura y la ventana de tolerancia de temperatura, necesarias para compensar para el control necesitaban ser ajustados cuando el horno sufría modificaciones o era reemplazado.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

LOAD SAVE PRINT EXIT	
Experiment Path:	C:\AMI-3
Data Path:	C:\AMI-3
Analysis Path:	C:\AMI-3
Standard Temperature:	25 C
Standard Pressure:	739 torr
Pulse Loop Size:	100 µL
Balcony Temperature:	30 C
PID Time Base:	5 sec
CPU Speed:	20 mHz
Temp Tolerance Band:	5 C
Temp Tolerance Window:	60 sec

CursorKeys: <TAB>or<→>=Right <ShifL/TAB>or<←>=Left <↑>=Up <↓>=Dn  
<ALT>=Menu <F3>=GasMenu

SYSTEM CONFIGURATION SCREEN

Figura 2.46 Pantalla de configuración del sistema (Fuente: Altamira Instruments)

### **Expdef**

#### **Experiment Definition Screen**

La parte más importante de la caracterización es la definición del experimento, ya que en él se definen las etapas y procesos necesarios para la obtención de resultados (figura 2.47). Algunos experimentos se desarrollan con el fin de someter el catalizador a temperatura y flujo de gas con el fin de obtener un catalizador con niveles más puros, mientras que existen otros procedimientos que se limitan simplemente al análisis del catalizador. Dentro de cada uno de los procedimientos que se pueden editar se modifican variables como: temperatura, flujo volumétrico, tiempo de muestreo, tipo de gas (*carrier* y tratamiento), etc.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3



Figura 2.47 Pantalla de definición del experimento (Fuente: Altamira Instruments)

A través de esta pantalla el usuario también podía crear, modificar y/o eliminar experimentos.

### ***Expsched***

#### ***Experiment Schedule Screen***

Después de definir un experimento era necesario calendarizarlo, especificando en que archivo se encontraba definido el experimento, así como el nombre del archivo donde se guardaron los datos al término del experimento (figura 2.48).

También se especificaba el día, mes y hora en la cual comenzaba el experimento, con la capacidad de programar hasta tres experimentos de manera simultánea.

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

FILE SAVE PRINT EXIT		
Start Time	12:00	Station 1
Start Date	01-01-1992	
Sample Name	Standard Sample	
Sample Weight	0.300	
Experiment File Name	C:\AMI-3	Exp1 .CMD
Data File Name	C:\AMI-3	Data1 .DAT
Start Time	12:00	Station 2
Start Date	01-01-1992	
Sample Name	Standard Sample	
Sample Weight	0.300	
Experiment File Name	C:\AMI-3	Exp2 .CMD
Data File Name	C:\AMI-3	Data2 .DAT
Start Time	12:00	Station 3
Start Date	01-01-1992	
Sample Name	Standard Sample	
Sample Weight	0.300	
Experiment File Name	C:\AMI-3	Exp3 .CMD
Data File Name	C:\AMI-3	Data3 .DAT
CursorKeys: <TAB>=Right <Shift/TAB>=Left <Up>=Up <Down>=Down <ALT>=Menu <PgUp>=PageUp <PgDn>=PgDown		
EXPERIMENT SCHEDULING SCREEN		

Figura 2.48 Pantalla de calendarización de los experimentos (Fuente: Altamira Instruments)

Por medio de esta pantalla el usuario podía programar la ejecución de un experimento y elegir en que estación se llevaría a cabo.

### **Stations**

#### **All Stations Status**

Debido a que en cada estación se podía llevar a cabo un experimento, era necesario mantener un monitoreo en cada una de las estaciones para saber lo que sucedía y si todo se estaba llevando a cabo de manera adecuada. Aunque el sistema era autónomo y tenía la capacidad de auto abortar el experimento, también existía la posibilidad de abortarlo manualmente si existía alguna complicación. Esta pantalla mostraba un resumen del estado de cada estación (figura 2.49 y 2.50).

CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

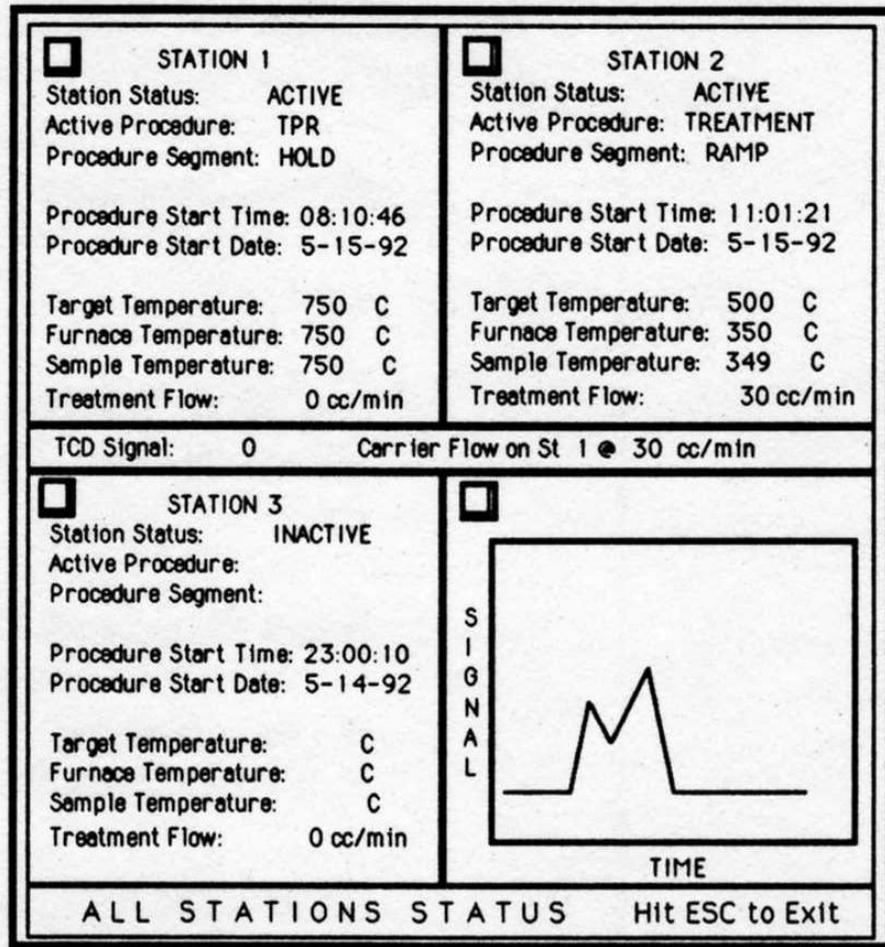


Figura 2.49 Pantalla de estatus de las estaciones y TCD (Fuente: Altamira Instruments)

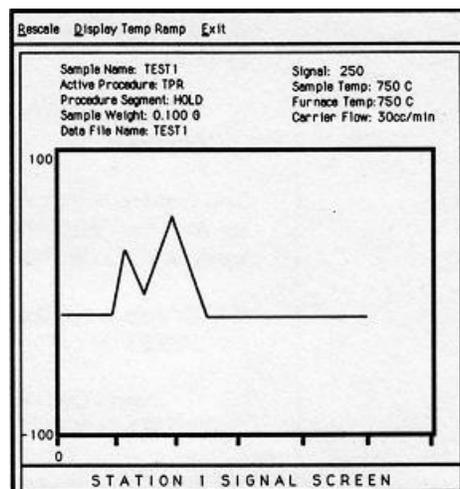


Figura 2.50 Señal aumentada del TCD (Fuente: Altamira Instruments)

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

### **Analysis**

#### **AMI-3 Data Analysis Mode**

Después de la obtención de datos “crudos” en el proceso de caracterización era necesario el análisis y para ello esta pantalla permitía leer los archivos que contenían los datos crudos obtenidos en un experimento (figura 2.51).

Al llamar a un archivo, los datos crudos se podían graficar mostrando los valores alcanzados y comparándolos entre sí. Por medio de los valores se determinaba el tiempo en el cual la muestra de catalizador cambia de estado, por medio del cambio de temperatura o la saturación de gas.

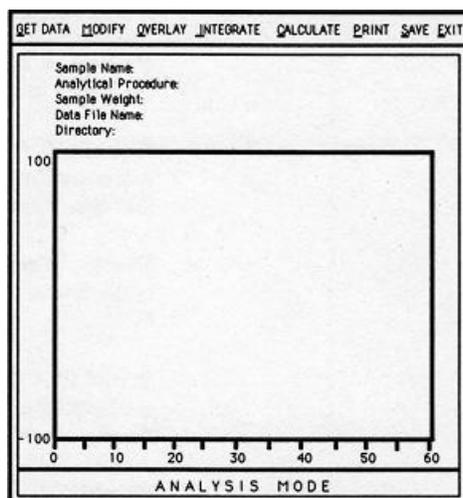


Figura 2.51 Pantalla de análisis (Fuente: Altamira Instruments)

Partiendo de las graficas se calculaba el área y se promediaban los tiempos para determinar los componentes desprendidos durante el experimento.

### **Manualop**

#### **Manual Operations Screen**

Para el mantenimiento del sistema, se disponía de una pantalla de diagnóstico. En esta pantalla se podía monitorear y controlar cada uno de los componentes del sistema: válvulas, MFC's, actuadores, hornos, TCD (figura 2.52). Esta pantalla

## CAPITULO 2 SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN POR TEMPERATURA PROGRAMADA AMI-3

cumplía con la función de diagnosticar cada uno de los dispositivos de manera individual.

DETECTOR		FURNACE		MASS FLOW		THERMOCOUPLE/MS		VALVE		EXIT	
Valve #	Description	TCD Information:									
00 01	MFC0 Select	TCD Signal		0 (Disabled)							
01 02	MFC0 Select	TCD Current		0 mA							
02 03	MFC0 Select	TCD Gain		x1							
03 11	MFC1 Select	Mess Flow Controllers:									
04 12	MFC1 Select	MFC0 Carrier		0 V	0 cc/min						
05 13	MFC1 Select	MFC1 Treatment St1		0 V	0 cc/min						
06 21	MFC2 Select	MFC2 Treatment St2		0 V	0 cc/min						
07 22	MFC2 Select	MFC3 Treatment St3		0 V	0 cc/min						
08 23	MFC2 Select	Flow Path:									
09 31	MFC3 Select	Pulse Valve Position MPVP		Fill / Inject							
10 32	MFC3 Select	Carrier Path:		4		Pressure: 0 psi					
11 33	MFC3 Select	Thermocouples:									
12 41	Pulse Select	St 1 Sample	30 C	30 C	0	Inact					
13 42	Pulse Select	Furnace	30 C								
14 43	Pulse Select	St 2 Sample	30 C	30 C	Inact						
15 51AB	Sat Common	Furnace	30 C								
24 51CD	Sat MFC1	St 3 Sample	30 C	30 C	Inact						
25 51EF	Sat Pulse	Furnace	30 C								
26 52AB	Sat MFC2	Color Code:									
27 53AB	Sat MFC3	[Pattern] = On		[Solid] = Off		[Solid] = Inactive					
16 61	TCD/ANAL.										
18 91	Inactive										
19 92	Inactive										
20 93	Inactive										
MANUAL OPERATIONS SCREEN											

Figura 2.52 Pantalla de diagnostico (Fuente: Altamira Instruments)

En esta pantalla se podían manejar los flujos y temperaturas del sistema de manera individual. Un ejemplo era el despliegue de los valores de voltaje de los MFC's, para verificar su funcionamiento y hacer las respectivas correcciones.

La estructura de estas pantallas permitía al operador tener monitoreo y control del sistema de caracterización y por medio de ellas el desarrollo de los experimentos.

Como hemos podido describir, el conjunto de la HMI, la IBM PC, el sistema de caracterización y el sistema de adquisición Keithley, formaban lo que conocíamos como el sistema de caracterización por temperatura programada AMI-3.

## **CAPITULO 3: SISTEMA PROPUESTO**

### **3.1 Introducción**

Este capítulo describe las bases para el desarrollo del nuevo sistema de adquisición de datos, alrededor del cual se encuentra la rehabilitación del sistema original en base a los problemas descritos en el capítulo 1. La utilización del sistema de caracterización y las consideraciones para el desarrollo de la nueva HMI.

### **3.2 Consideraciones generales del diseño**

Teniendo en mente las necesidades del usuario y tomando como punto de partida el sistema original, los siguientes puntos representaron las principales características a considerar en el diseño:

- El diseño de la interfaz y el sistema de adquisición deben estar en función de los elementos del sistema original.
- La interfaz debe tener la posibilidad de instalarse en un sistema operativo Windows.
- El manejo del sistema por el usuario debe ser sencillo. Es decir, el desarrollo debe estar en función de las personas que lo operen. Por ello la necesidad de crear una interfaz intuitiva y amigable. Pero debe ser de alguna manera parecido al anterior para evitar conflictos al usuario.
- Para realizar un registro y la posterior grafica del experimento, el elemento más viable es una computadora electrónica, incluso se pueden generar reportes y llevar a cabo el control del proceso a través de la misma.

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

- La interfaz debe poseer la capacidad de guardar las modificaciones en el sistema, ya que el usuario no tiene la responsabilidad de recordarlo todo.
- Cuando algo anormal suceda en el sistema, deberá de existir algún medio por el cual el operador se encuentre enterado.
- El sistema cuenta con tres estaciones, cada una con un horno de calentamiento independiente. Esto amplía la posibilidad de llevara a cabo hasta tres procedimientos de tratamiento de manera simultánea, todo esto gracias a los actuadores y válvulas multiposición que funcionan mediante comandos lógicos *Binary-Coded Decimal* (BCD) o Decimal Codificado en Binario.
- El tipo de gases que fluyen por el sistema depende de la posición en la que se encuentren las válvulas solenoides; la cantidad de gas, que es regulado mediante controladores de flujo másico.
- La temperatura máxima a la que pueden calentar los hornos es de 1200 °C. Difícilmente se realizan experimentos donde se llega a alcanzar estas temperaturas, pero ello no quiere decir que se pueda despreciar esta posibilidad para crear un sistema de alarma para temperaturas que excedan estos niveles.

### 3.3 Esquema primario del sistema

Tomando en consideración todos los puntos anteriores, la representación primaria del nuevo sistema se muestra en la figura 3.1.

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO



Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema propuesto (Fuente: Propia)

La etapa de control es la base principal donde se encuentran integrados todos los pasos lógicos, para llevar a cabo el control y monitoreo de los distintos dispositivos que conforman el sistema de caracterización. Esta etapa contiene todos los procesos para ejecutar una serie de pasos y condiciones a medida que el sistema lo demande. Básicamente es una etapa de programación.

Dentro de esta etapa se encuentran encerradas un conjunto de instrucciones para cada tipo de control, como son el control de Temperatura, el control de flujo de gases, el control de movimiento de las válvulas multiposición, y el control de las válvulas solenoides.

La etapa de adquisición de datos se encargara de acondicionar las señales provenientes de los distintos sensores además de generar señales analógicas y digitales requeridas por los actuadores. Cabe mencionar que en sistema de adquisición de datos deberá contar con igual número de salidas y/o entradas analógico digitales que el sistema Keithley, y con base en el hacer modificaciones apropiadas, si es que se requieren.

Tanto las salidas y/o entradas digital-analógicas, deberán estar dentro de los rangos de funcionamiento de cada uno de los sensores y actuadores. Además de que el desarrollo de la HMI estará en función del sistema de adquisición de datos.

Para el desarrollo del sistema de adquisición deberá estar contemplado que su uso se hace dentro de un ambiente agresivo, por el uso de materiales corrosivos.

### ***3.3.1 Propuesta para la etapa de control y monitoreo***

La etapa de control y monitoreo es el corazón del sistema. Profundizando en sus características, este lleva la lógica del proceso, lo cual implica que debe tener grabado todo el proceso y todas las acciones que deban ser tomadas ante cualquier situación que se presente.

La computadora personal (PC) tiene un gran potencial en el campo de la instrumentación. Es tan versátil que prácticamente cualquier problema puede ser solucionado con ella, todo es cuestión de tener conocimientos adecuados sobre programación y adquisición de datos. Es pertinente mencionar que las computadoras típicamente no tienen unidades de adquisición de datos (Tarjetas DAQ) estas se adquieren aparte. Son varias las compañías que fabrican estas unidades, ofreciendo una amplia gama de opciones para ajustarse a las características del problema a resolver.

En la mayoría de los laboratorios dedicados al estudio de hidrocarburos se encuentran reactivos con un amplio grado de agentes corrosivos, estos reactivos acortan el tiempo útil de los instrumentos y dispositivos de análisis. El Laboratorio de Caracterización de Materiales y Espectroscopia no es la excepción. Por ello es primordial el uso de una PC Industrial para soportar estos ambientes agresivos.

Debido a la situación anterior se propuso la utilización de sistemas de adquisición de datos que incluyera una computadora industrial o por lo menos de las mismas características.

La forma en la que un operador interactúa con la PC crea una forma de trabajo muy sencilla, obviamente considerando el conocimiento de operación del programa.

#### **Especificación para el control por computadora**

Conceptualmente es más sencillo el control por computadora. Basta con tener conocimiento de programación acerca del lenguaje que sea más apropiado para el

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

desarrollo del sistema. Dicho lenguaje debe contar con las herramientas para implementar la lógica del proceso, comunicar a la PC con las tarjetas de adquisición, generar reportes y graficas, ofrecer un interfaz amigable para el usuario y que no interfiera con otros programas que estén activos en la computadora.

Sin embargo, realizar un programa implica realizar una interfaz amigable para el usuario (Operador del sistema), pues no hay que olvidar que si bien no es necesario que sea un experto en informática, al menos debe saber lo básico en el manejo de computadoras personales y el sistema operativo que tenga cargado.

Los principios del diseño que ayudan a explicar mejorar una Interfaz Hombre Máquina (HMI), tienen su origen en la teoría, la experiencia y el sentido común.

Para desarrollar la HMI tomaremos los 10 principios o normas fundamentales de Jakob Nielsen<sup>(16)</sup> aplicadas al desarrollo de nuestra HMI.

1. Visibilidad del estado del sistema. El sistema debe siempre mantener informados a los usuarios de lo que ocurre, con una correcta retroalimentación en un tiempo razonable.
2. Correspondencia entre el sistema y el mundo real. El sistema debe hablar el lenguaje de los usuarios, con palabras, frases y conceptos familiares para el usuario. Esto equivale a seguir las convenciones del mundo real, haciendo que la información aparezca de forma natural y lógica.
3. Control y libertad del usuario. Los usuarios frecuentemente elijen opciones por error y se necesita claramente indicar una salida para estas situaciones no deseadas sin necesidad de pasar por extensos diálogos.
4. Consistencia y estándares. Los usuarios no tienen que adivinar que las diferentes palabras, situaciones o acciones significan lo mismo, por ejemplo, si por convención el hecho de duplicar algún texto se le llama

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

“pegar”, no reemplazarlo por “unir”, aunque signifiquen lo mismo en determinados contextos.

5. Evitar errores. Un diseño cuidado de tal manera que prevenga problemas en su utilización es mejor que añadir mensajes de error.
6. Reconocimiento versus recuerdo. Se refiere a hacer objetos, acciones y opciones visibles. El usuario no tiene que recordar información de una parte a otra. Las instrucciones de uso del sistema deben estar visibles o fácilmente recuperables.
7. Flexibles y eficientes. Diseñar un sistema que pueda ser utilizado por un rango amplio de usuarios. Esto es, brindar instrucciones cuando sean necesarias para nuevos usuarios pero que no se entrometa en el camino de usuarios avanzados, permitiéndoles a éstos último ir directamente al contenido que buscan.
8. Diseño minimalista. No mostrar información que no sea relevante. Cada pedazo de información extra compite con la información importante y disminuye su relativa visibilidad.
9. Ayuda a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores. Los mensajes de error deben estar escritos en lenguaje sencillo y asimilable, indicar precisamente el problema e indicar constructivamente una solución.
10. Ayuda y documentación. El mejor sistema es el que se puede usar sin documentación, pero siempre es bienvenida una ayuda o documentación. Esta información debe ser fácilmente encontrada, dirigida a las tareas de los usuarios, donde se listen los pasos concretos para hacer algo y sobre todo, no ser muy extensa. Se recomienda también imágenes, siguiendo el conocido apotegma de que “una imagen dice más que mil palabras”.

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

Si bien este proyecto no tiene fines comerciales, sino con fines de investigación, que es de mayor relevancia, al menos debe cumplir en lo posible a estas diez reglas.

### **3.3.2 Propuesta de la etapa de Adquisición de Datos**

Debido a que el anterior Sistema de Adquisición de Datos no se puede utilizar, por los problemas que se mencionaron anteriormente, es necesario tomar en cuenta los valores de cada una de las entradas y salidas del sistema, tanto analógicas como digitales.

Antes de retirar el Sistema de Adquisición de Datos Keithley se llevaron a cabo pruebas en cada uno de los sensores y controladores del sistema que estaban conectados a él, y con ayuda del manual <sup>(15)</sup> del sistema AMI-3 se verificaron las conexiones de los sensores y controladores (véase figura 3.2).



Figura 3.2 Revisión de las conexiones del Keithley (Fuente: Propia)

Estas pruebas permitieron conocer las condiciones iniciales de operación del Sistema de Adquisición de Datos. De ello se pudo generar una tabla de variables,

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

la cual permitió conocer cuantas y cuáles eran las señales necesarias para controlar el sistema. A continuación se enlistan en las **Tabla 3.1 - 3.4** cada una de las variables del sistema original a condiciones iniciales, es decir al momento de encender el sistema.

**Tabla 3.1 Entradas Digitales**

<b>Variables</b>	<b>Condiciones Iniciales</b>
MPVS READ 1'S	0
MPVS READ 2'S	1
MPVS READ 4'S	1
MPVC READ 1'S	0
MPVC READ 2'S	1
MPVC READ 4'S	1

**Tabla 3.2 Entradas Analógicas**

<b>Variable</b>	<b>Condiciones iniciales</b>
TCD Current Read	0
TCD Signal Read	0
PRESSURE Read	100mV
MFC'S Read	0
Sample1 Temp	25°C
Furnance1 Temp	25°C
Sample2 Temp	25°C
Furnance2 Temp	25°C
Sample3 Temp	25°C
Furnance1 Temp	25°C

CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

**Tabla 3.3 Salidas Analógicas**

<b>Variable</b>	<b>Condiciones iniciales</b>
MFC0 Set	0
MFC1 Set	0
MFC2 Set	0
MFC3 Set	0
TCD Current Set	4.996
TCD Zero Set	-0.002

**Tabla 3.4 Salidas Digitales**

<b>Variables</b>	<b>Condiciones iniciales</b>
V01 MFC0	1
V02 SELECT	1
V03 VALVES	1
V11 MFC1	1
V12 SELECT	1
V13 VALVES	1
V21 MFC2	1
V22 SELECT	1
V23 VALVES	1
V31 MFC3	1
V32 SELECT	1
V33 VALVES	1
V41 PULSOS	1
V42 VALVES	1
V43 SELECT	1
V51 A&B SAT COM	1
V61 TCD/ANAL	1
V71 AIR MPVP	1
V81 AIR FURN 1	1

### CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

V82 AIR FURN 2	1
V83 AIR FURN 3	1
V51 C&D SAT MFC1	1
V51 E&F SAT MPVP	1
FURNANCE 1	0
FURNANCE 2	0
FURNANCE 3	0
WDOG	Señal de reloj de 2 Hz
MPVS ENABLE	1
MPVS SET BCD 1'S	1
MPVS SET BCD 2'S	1
MPVS SET BCD 4'S	0
MPVC ENABLE	1
MPVC SET BCD 1'S	1
MPVC SET BCD 2'S	1
MPVC SET BCD 4'S	0
TCD ENABLE	1
MFC0*	1
MFC1*	1
MFC2*	1
MFC3*	1

Las variables que se encuentran precedidas por un \* son aquellas que se encontraban multiplexadas, es decir, que se utilizaba solo una entrada analógica para leer cada una de ellas a la vez.

Con base en las tablas se determino el tipo y número de tarjetas necesarias para el control y monitoreo de las señales.

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

### ***3.3.3 Propuesta para la etapa de sensores y actuadores***

Como hemos mencionado en el capítulo 1 y 2, el sistema de caracterización se encontraba en perfecto estado, y no será necesario reemplazar ninguna de sus partes.

Así mismo los subsistemas de tuberías, eléctrico y electrónico, se conservaran. A continuación enlistamos los diversos dispositivos que se conservan y de los cuales haremos uso:

Sistema de tuberías:

- Rack de gases
- Válvulas de enfriamiento
- Transductor de presión
- Válvulas solenoides
- Controladores de Flujo Másico
- Actuadores y válvulas Multiposición
- Filtro de aire y regulador de presión
- Estaciones

Sistema eléctrico

- *Breaker*
- *Watch Dog Timer*
- Interruptor Termomagnético
- Interruptor Manual

## CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

- Relevadores de estado sólido SSR
- Relevadores de sobre temperatura OTR
- Transformador de aislamiento
- Detector de conductividad Térmica TCD
- Relevador de protección del TCD (*Brentek Dry Relay*)

### Sistema electrónico

- Fuente de  $\pm 15V$  DC
- Fuente de  $+ 5V$  DC
- I/O Rack
- Fuente de corriente de 0 a 300 mA Athena
- Modulo electrónico para implicar y filtrar la señal del TCD SCM5B30
- Modulo electrónica para calibrar el TCD SCM5B31
- Modulo de control de corriente del TCD SCM5B31
- Tarjeta de instalación para módulos de filtrado y amplificación de termopares SCMPB05
- Módulos de filtrado y amplificación de Termopares SCMPB05

### Sistema externo

- Control de temperatura del TCD Honeywell UDC 1000
- Control de temperatura del balcony Tecnologic thp 48.
- Limitadores (*switches*) de temperatura Watlow

### CAPITULO 3 SISTEMA PROPUESTO

El empleo de todos estos materiales, así como de los principios para el desarrollo de la interfaz, nos permitirán integrar un nuevo Sistema de Adquisición de Datos acorde a las necesidades del sistema, basándonos en los valores de las señales analógico-digitales.

## CAPITULO 4: TARJETAS DAQ

### 4.1 Introducción

En este capítulo se describen el hardware del nuevo sistema. Las generalidades y las propiedades más importantes de las tarjetas de adquisición de datos (tarjetas DAQ). También se estudian las características de sus entradas y salidas analógicas/digitales y se mencionan otras funciones comunes de las tarjetas DAQ. El capítulo termina describiendo el sistema PXI y las tarjetas PXI 6220, 6722, 6528 utilizadas en este trabajo para la rehabilitación.

### 4.2 Generalidades

La gran mayoría de los fenómenos que se presentan en la naturaleza varían en forma continua y se dice que producen señales analógicas o señales que son análogas al fenómeno que las generan. Cuando se utiliza un PC para procesar señales analógicas, se requiere cambiar el formato analógico de la información generada por el fenómeno a detectar, a un formato digital que pueda ser interpretado por la computadora. En algunas ocasiones, por ejemplo en aplicaciones de control, se necesita que la información procesada en forma digital sea convertida a un formato analógico de salida. Para realizar el cambio de formato de la información se utilizan convertidores Analógico/Digital (CAD) y Digital/Analógico (CDA). En la actualidad los convertidores CAD y CDA se encuentran contenidos dentro Tarjetas de Adquisición de Datos.

El concepto de Adquisición de Datos se refiere primariamente a la captura de señales analógicas con una PC por medio de una interfaz. A esta interfaz se le llama Tarjeta de Adquisición de Datos (*Data Acquisition Board*), la cual permite que la información del mundo real pueda ser reconocida por la computadora. Las tarjetas DAQ son sistemas electrónicos completos, que se conectan a la

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

computadora a través de su bus interno, o bien, a través de algún puerto, tal y como se muestra en la figura 4.1. En el primer caso es necesario abrir la PC para insertar la tarjeta en una ranura libre dentro del bus interno de la PC, mientras que en el segundo caso la conexión se hace directamente al puerto. Las tarjetas DAQ tiene la capacidad de realizar una o más de las siguientes funciones:

- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas
- Entradas/Salidas Digitales
- Contadores/Temporizadores

Hoy en día se disponen de una gran variedad de tarjetas que pueden conectarse a una PC, la mayoría de ellas dentro de su bus interno. En este caso es importante conocer en qué tipo de plataforma se va a conectar una tarjeta, por ejemplo: PCI, PXI, PCMCIA, ISA, VXI. En algunos casos las tarjetas están diseñadas para conectarse a alguno de los puertos de la PC (puerto paralelo, puerto serial, USB, etc). También existen tarjetas que realizan otro tipo de funciones tales como adquirir imágenes (señal de video), controlar motores (AC, DC, de pasos), generar instrumentos básicos con PC (osciloscopios, multímetros, generadores de funciones), por ejemplo:

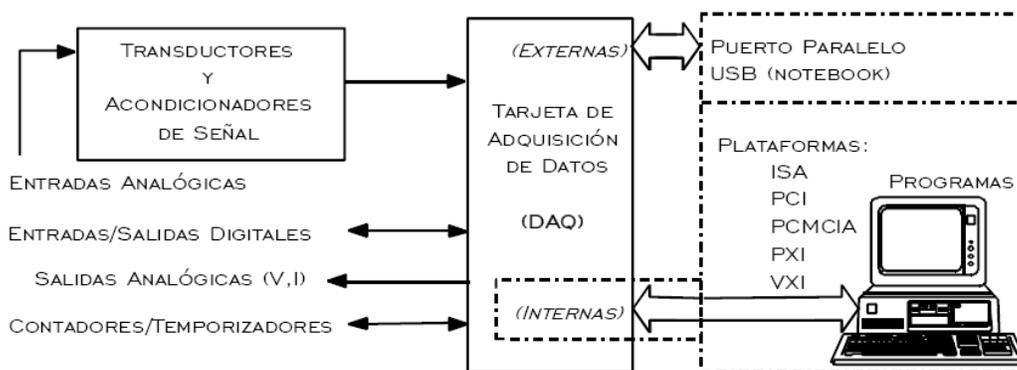


Figura 4.1 Tarjeta de adquisición de datos conectada a una PC, por medio de su bus interno o una interfaz estándar (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

Para utilizar una tarjeta de adquisición de datos en forma óptima, dentro de una aplicación específica, es necesario conocer los fundamentos de operación de las diversas funciones que puede realizar el sistema. También es importante, para realizar una buena selección, conocer el significado de las principales características que describen a las tarjetas DAQ. En la tabla 5.1 se representan las principales propiedades de cuatro modelos comerciales <sup>(17)</sup> <sup>(18)</sup>.

**Tabla 4.1 Modelos comerciales de tarjetas DAQ**

Tarjeta	BUS	Ent. Analog	Razón de Muestreo	Resolución	Intervalo	Ganancia	Salidas Analógicas	Resolución de salida	E/S Digitales	Cont/Temp
PCI- 1200	PCI	8SE	100KS/s	12 bits	±5	1, 2, 5	2	12 bits	24	3
PXI- 6220	PXI	16SE	250KS/s	16 bits	±15	1	x	x	24	2
I-6111E	PCI	2DI	10MS/s	12 bits	±42, ±20, ±10	1, 2, 5, 10, 20	2	16 bits	8	2
PC- LMP- 16/PnP	ISA	16SE	50KS/s	12 bits	±5, ±2.5	1	x	x	16	2

### 4.3 Entradas analógicas

Las características de las entradas analógicas determinan las habilidades y la exactitud que tiene una tarjeta DQA para una aplicación específica. Las principales características de las entradas analógicas son las siguientes <sup>(18)</sup> <sup>(19)</sup> <sup>(20)</sup>:

- Tipo de entrada: simple o diferencial
- Número de canales analógicos de entrada
- Razón de muestreo
- Resolución
- Intervalo de entrada

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

La estructura básica de las entradas analógicas en una tarjeta DAQ se muestra en la figura 4.2. El multiplexor acepta múltiples entradas analógicas de voltaje y a su salida presentan la información de una sola entrada seleccionada por medio de código binario. La señal seleccionada  $V_E$  se aplica a la entrada del amplificador de instrumentación, cuya ganancia es programada por medio de un código binario. El voltaje amplificado  $V_A$  se convierte a un formato digital de N bits que contiene la información a procesar en la PC. El convertidor A/D, contenido en un solo circuito integrado, recibe señales de control que generalmente inician una conversión y habilitan sus salidas con la información convertida. Normalmente se tiene una línea de estado para indicar el fin de una conversión.

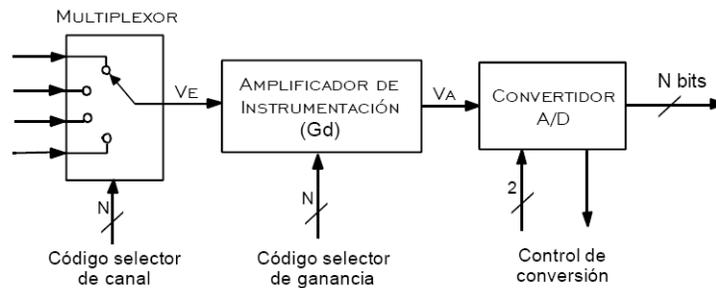


Figura 4.2 Etapa analógica de entrada de una tarjeta DAQ (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

### Multiplexado

Una técnica común para medir varias señales analógicas con un simple amplificador de instrumentación y un CAD se llama multiplexado. El multiplexor toma una muestra de un canal y su información se amplifica y se envía al CAD, conmuta al siguiente canal y su información la envía al CAD y así sucesivamente para todos los canales de entrada. Debido a que el mismo CAD está muestreando muchos canales, la razón de muestreo efectiva para cada canal individual es inversamente proporcional al número de canales muestreados. Por ejemplo para una tarjeta DAQ con una razón de muestreo de 100KS/s en 4 canales, por cada canal se muestrea efectivamente a una razón de: 25KS/s por canal. Es posible

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

utilizar multiplexores analógicos externos a la tarjeta DAQ para incrementar el número de canales que se puede medir.

### **Razón De Muestreo**

Este parámetro especifica que tan frecuente se realizan las conversiones en la tarjeta DAQ. Con una razón de muestreo más rápida se adquieren más puntos de medición en un tiempo dado y por lo tanto se puede formar una mejor representación de la señal original. Para digitalizar apropiadamente las señales analógicas de entrada, el teorema de muestreo de Nyquist establece que:

***“El muestreo se debe realizar cuando menos al doble de la componente de máxima frecuencia de la señal que se desea digitalizar”***

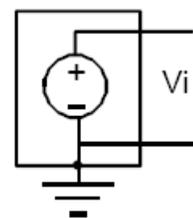
A ésta frecuencia se le llama frecuencia de Nyquits. Por ejemplo, las señales de audio convertidas a señales eléctricas por medio de un micrófono comúnmente tienen componentes de frecuencia de hasta 20 kHz. Entonces para digitalizar la señal de audio descritas se debe utilizar una tarjeta DAQ con una razón de muestreo igual o mayor de 40KS/s.

### **Tipos De Entrada**

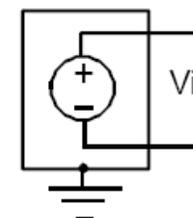
Para cualquier aplicación es importante conocer el tipo de las señales analógicas de entrada, que contienen la información a medir.

#### ***Aterrizadas***

Una fuerte señal aterrizada proporciona señales de voltaje que son referidas al sistema de tierra, es decir, una de sus terminales se encuentra conectada al punto de cero potencial ó tierra ó punto común del sistema de medición.



#### ***Flotantes (diferenciales)***



## CAPITULO 4 TARJETAS DAQ

Una fuente de señal flotante no tiene conexión al punto de cero potencial o tierra del sistema de medición. Algunos ejemplos de fuente de señales flotantes son: salida de transformadores, dispositivos alimentados con baterías, termopares, circuitos puente, y amplificadores de aislamiento.

Las líneas de conexión eléctrica, desde donde se generan la señal de información hasta la entrada analógica de la tarjeta DAQ, están expuestas a interferencias externas que son iguales o comunes en ambas líneas. Al promedio de estos voltajes se le llama voltaje en modo común ( $V_C$ ), el cuál se puede modelar tal y como se muestra en la figura 4.3 y puede incluir voltajes de polarización al transductor ( $V_{CC}/2$ ). Idealmente el amplificador de instrumentación debe amplificar sólo la señal diferencial  $V_d$  en sus entradas, rechazando o ignorando cualquier componente de voltaje en modo común  $V_c$ . El término Factor de Rechazo en Modo Común (CMRR) describe la habilidad de una tarjeta DAQ, para rechazar las señales en modo común. La fuentes más común de interferencia externa son los equipos eléctricos conectados al suministro de energía de 50/60 Hz, tal como lámparas y motores. En aplicaciones industriales, estos ruidos pueden ser muy intensos.

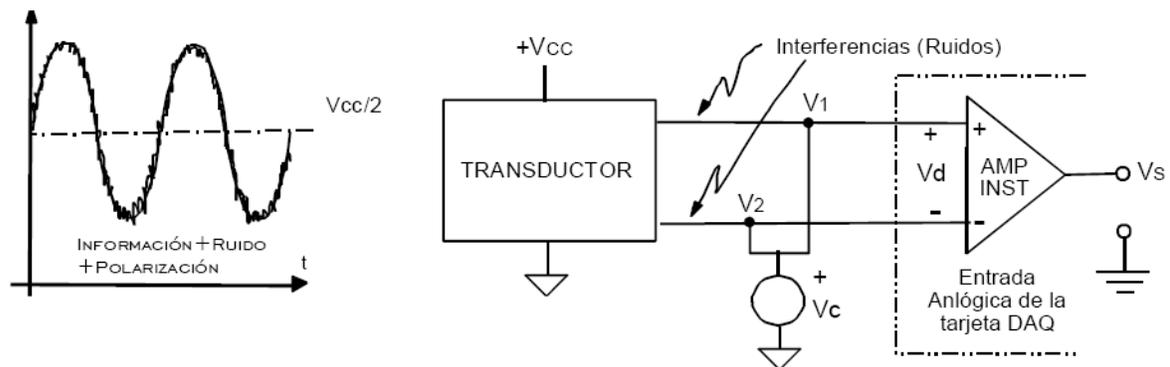


Figura 4.3 Pequeña señal de información contaminada con altos ruidos. Modelo de los voltajes en modo común (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

Los canales analógicos de entrada pueden ser de tipo diferencial (DI) o de entrada simple (SE).

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

### Sistemas de entrada simple (SE)

En éste tipo de conexión todas las señales analógicas de entrada se encuentran referidas a un mismo punto común de tierra, y típicamente se utiliza cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Las señales de entrada son grandes (mayores a 1 V).
- Los conductores de conexión entre la fuente de la señal y la entrada analógica de la tarjeta DAQ son cortos (menores a 3m).
- Todas las señales de entrada comparten un punto en común de tierra.

Si las señales de entrada no cumplen con estos criterios entonces se deben utilizar entradas diferenciales.

### Sistema de entrada diferencial (DI)

Este tipo de conexión cada entrada tiene su propio punto de cero potencial distinto a la tierra del sistema. Un sistema de medición diferencial ideal solo responde a la diferencia de potencial  $V_d$  entre sus dos terminales de entrada. Cualquier voltaje presente en las entradas del amplificador respecto a su tierra (AGND) representa un voltaje en modo común el término Factor de Rechazo en Modo Común (CMRR) describe la habilidad de un sistema diferencial de medición, para rechazar (no medir) las señales en modo común. La configuración diferencial de entrada se utiliza cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- Señales de entrada de bajo nivel (menores que 1 V).
- Los conductores de conexión entre la fuente de la señal y la entrada analógica de la tarjeta DAQ son grandes (mayores a 3m).
- Al menos una señal de entrada tiene su propio punto común de tierra.
- Las conexiones se encuentran en un ambiente ruidoso.

En lo posible se recomienda utilizar un sistema de medición diferencial, debido a su capacidad de minimizar los errores producidos por interferencias, ruidos y trayectorias de tierra (voltajes en modo común).

## Resolución

Es el numero de bits de los CADs utilizan para representar a la señal analógica. Mientras mayor sea el número de bits mayor es la resolución y menor será el mínimo cambio de voltaje que se pueda detectar. En la figura 4.4 se muestra una señal senoidal y su correspondiente imagen digital obtenida con un CAD ideal de 3 bits. Un CAD de 3 bits (el cual en realidad no se utiliza, pero es un ejemplo conveniente) divide el intervalo analógico en  $2^3 = 8$  divisiones. Cada división es representada por un código binario entre 000 y 111. Claramente la representación digital no es una buena representación de la señal analógica original porque se ha perdido información en la conversión. Si la resolución se aumentara a 16 bits entonces el número de códigos del CAD se incrementa de 8 a 65,536 y se obtiene una representación digital extremadamente próxima a la señal analógica original, siempre y cuando el resto de los circuitos analógicos de entrada estén diseñados apropiadamente.

La resolución se puede expresar como el mínimo cambio de voltaje en la entrada, para producir el cambio del bit menos significativo (LSB) del código de salida y se puede determinar con la siguiente ecuación.

$$\text{RES} = \text{Alcance de entrada} / (2^N - 1)$$

Donde N es el número de bits que forman el código de salida. Por ejemplo, para 12 bits de salida con un intervalo de entrada bipolar de  $\pm 5\text{V}$  se tiene:  $\text{Res} = 10\text{V}/4095 = 2.442\text{mV/LSB}$ .

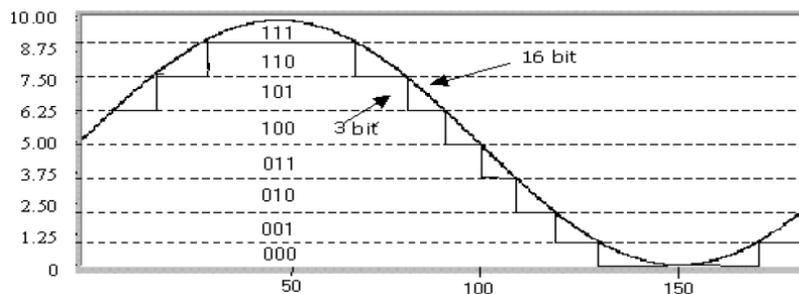


Figura 4.4 Efecto de la resolución (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

**Intervalo**

El intervalo se refiere a los niveles de voltaje mínimo y máximo de la señal de entrada al amplificador de instrumentación (ver figura 4.2) que el CAD puede cuantificar. En general las tarjetas DAQ ofrecen intervalos de entrada seleccionables de tal manera que la tarjeta se puede configurar para manejar una variedad de diferentes niveles de voltaje. Con esta flexibilidad es posible seleccionar el intervalo analógico de la señal de entrada para obtener la mejor resolución posible. Por ejemplo, en el extremo izquierdo de la figura 4.5 se muestra un CAD de 3 bits con 8 divisiones digitales en un intervalo de 0 a 10 V. si se selecciona un intervalo de entrada de  $\pm 10.00V$ , como se indica en el extremo derecho de la figura 4.5, el mismo convertidor ahora separa el alcance de 20V en 8 divisiones y el mínimo voltaje detectable se incrementa de 1.25 a 2.5V, de tal manera que se tiene una representación de señal con menor exactitud.

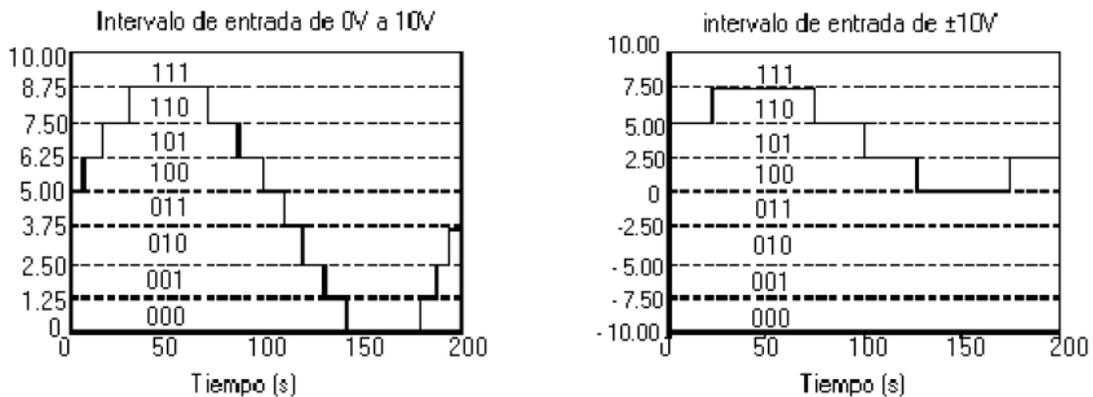


Figura 4.5 Efecto del intervalo de entrada analógica seleccionada para una tarjeta DAQ (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

**4.4 Salidas analógicas**

Los circuitos de salida analógicos de una tarjeta DAQ comúnmente se utiliza para producir señales de estímulo a procesos externos. La información procesada o generada en forma digital es convertida a una señal analógica, por medio de un convertidor digital/analógico (CDA) que se encuentra en la tarjeta DAQ. La

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

conversión consiste en producir una señal de voltaje o corriente analógicos de salida proporcional a una palabra o código binario de entrada, tal y como se muestra en la figura 4.6.

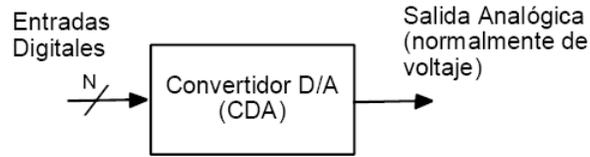


Figura 4.6 Bloque esquemático de un CDA (Fuente: R.F. Coughlin etal. 1993)

### Tiempo de asentamiento

El tiempo de asentamiento es el tiempo requerido para que la salida alcance una exactitud específica, usualmente se expresa como un cambio de voltaje de salida a máxima escala. Se ilustra en la figura 4.7.

### Razón De Cambio

La razón de cambio es la rapidez con la que un CDA puede producir un cambio en el voltaje de salida tal y como se ilustra en la figura 4.7. El tiempo de asentamiento y la razón de cambio determinan que tan rápido puede el convertidor digital/analógico (CDA) cambiar el nivel analógico de la señal de salida. Un CDA con un pequeño tiempo de asentamiento y alta razón de cambio puede generar señales de alta frecuencia, debido a que se requiere un pequeño tiempo para que la salida cambie con cierta exactitud a un nuevo valor.

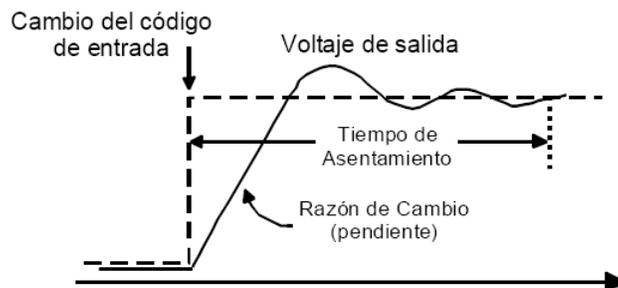


Figura 4.7 Tiempo de asentamiento y razón de cambio (Fuente: R.F. Coughlin etal. 1993)

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

Un ejemplo de una aplicación que requiere un alto rendimiento de estos parámetros es la generación de señales de audio. En contraste una aplicación que no requiere de una rápida conversión D/A es un voltaje para controlar un calentador. Debido a que el calentador no puede responder rápidamente a un cambio del voltaje aplicado no requiere de una rápida conversión D/A.

### **Resolución**

Se define como el mínimo cambio de la salida analógica, producido por el mínimo cambio del código digital de entrada, es decir, producido por el cambio del bit menos significativo de entrada (LSB), esto es  $Res = \Delta V_s / LBS$ . La resolución también está determinada por el número  $n$  de bits que forman la palabra binaria de entrada, esto es:  $Res = 1/2^n$ . Por ejemplo para un CDA de 12 bits, se tiene que  $Res = 1/2^{12} = 1/4096$  y se dice entonces que la resolución es de una parte en 4096 y puede representarse en % como:  $Res = (1/4096) * 100\% = 0.244\%$ .

Si se conoce el alcance de salida ( $V_{smax} - V_{smin}$ ) la resolución puede expresarse en términos de voltaje por medio de la expresión:  $Res = (V_{smax} - V_{smin}) / (2^n - 1)$ . Por ejemplo, para 12 bits con un intervalo de 0 a 10V se tiene:

$$Res = 10V / (4096 - 1) = 2.44mV/LSB$$

Un número grande de bits reduce la magnitud de cada incremento de voltaje de salida, por lo tanto es posible generar cambios suaves en la señal de salida. Las aplicaciones que requieren de un intervalo dinámico amplio con pequeños cambios de voltaje en la salida analógica, necesita de alta resolución.

### **Aislamiento eléctrico**

En muchas aplicaciones industriales donde se miden señales de voltaje, corriente, temperatura, presión, tensión y flujo, es común encontrar elementos que pueden dañar los sistemas de medición y perjudicar las mediciones como voltajes peligrosos, señales transitorias, voltajes de modo común y referencias a tierra fluctuantes. Para solucionar o prevenir estos problemas, los sistemas de medición

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

para aplicaciones industriales deben contar con aislamiento eléctrico. El aislamiento separa eléctricamente las señales del sensor, que puedan estar expuestas a voltajes peligrosos, el plano del sistema de medición. De esta forma, el aislamiento protege contra todas las situaciones mencionadas: protege al equipo de medición, al usuario y los datos contra picos de voltaje; mejora la inmunidad al ruido; remueve los diferentes lazos de tierra y rechaza el voltaje de modo común.

Un sistema de medición aislado cuenta con planos de tierra separados para la parte de entradas analógicas y la conectividad con el resto del sistema. De esta forma, la terminal de tierra de las entradas analógicas puede operar a niveles de potencial de voltaje diferentes a la tierra del sistema ya que es una terminal que está flotando.

El aislamiento requiere que las señales sean transmitidas a través de la barrera de aislamiento sin tener ningún contacto eléctrico directo. Para implementar esta transmisión, existen tres componentes comúnmente utilizados: diodo emisor de luz, condensadores e inductores.

### **Bus de comunicaciones con la PC**

El propósito principal de un bus de comunicación es enviar comandos y datos entre el dispositivo de medición y una unidad central, como una PC, o entre diferentes dispositivos, como tarjetas insertables. Hoy en día, existe una gran variedad de buses de comunicación disponibles para dispositivos de adquisición de datos: desde buses antiguos, como GPIB o serial hasta buses populares externos como USB.

Terminando como buses internos de muy alta velocidad como PCI y PXI Express. La selección del bus de comunicación en el dispositivo de adquisición de datos dependerá mucho de las características de las aplicaciones en donde se utilizara. En cuestiones de velocidad de transferencia, un bus de comunicación se puede definir por dos características: el ancho de banda y la latencia. El ancho de banda

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

mide la velocidad a la cual los datos son enviados a través del bus, regularmente en mega bytes por segundo, o MB/s. Un mayor ancho de banda es importante para aplicaciones donde se trabaja con señales complejas o señales de RF. La latencia mide el retraso en la transmisión de datos a través del bus. Una menor latencia introducirá menos tiempo de retraso entre los datos que son transmitidos desde un extremo de comunicación hasta que son procesados en el otro extremo.

### **Software Para La Comunicación Con La PC**

El driver es la capa de software que permite la comunicación con el hardware desde el software de aplicación en la PC. El controlador permite al usuario indicar al hardware de adquisición de datos cuáles son los parámetros bajo los cuales debe operar (como el rango o la velocidad de muestreo) además de indicarle las operaciones que debe realizar (configurar la memoria de entrada, leer uno o múltiples canales, etc.). Uno de los beneficios de contar con un controlador es que previene al ingeniero de programar a nivel de registro o enviar comandos complicados de manera manual para acceder a las funciones del hardware.

Comúnmente el controlador es uno de los factores menos considerado al momento de elegir un sistema de adquisición de datos; sin embargo, un software controlador intuitivo y con acceso completo al hardware es crucial para asegurar un rápido desarrollo de la aplicación de medición.

### **4.5 Otras funciones**

#### **Entradas/Salidas Digitales (Digital I/O)**

En general, las líneas digitales de Entrada/Salida (E/S) de una tarjeta DAQ, frecuentemente se utiliza para controlar procesos, generar patrones de prueba, y comunicarse con equipo periférico que responde a señales binarias. Estas líneas de E/S digitales normalmente se agrupan en puertos, tal como se muestra en la figura 4.8.

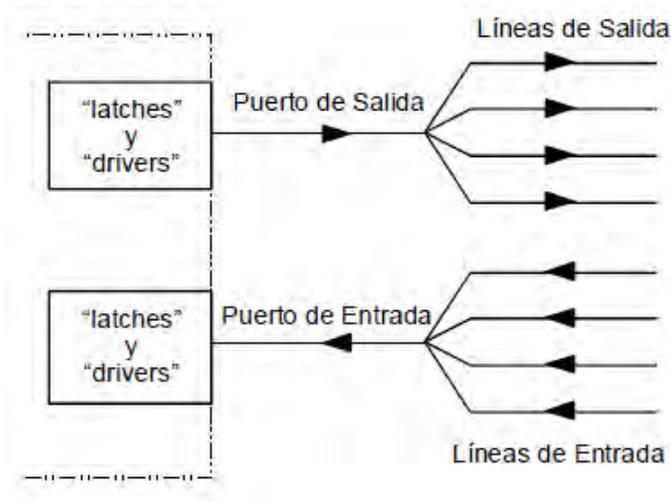


Figura 4.8 Puerto y líneas digitales (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

El número de líneas digitales que contiene un puerto depende del dispositivo o módulo particular, pero son comunes los puertos de 8 bits. Los puertos tienen asociada una determinada dirección en el mapa de memoria de la PC. Esto permite escribir simultáneamente en todas las líneas de un puerto o bien, leer también simultáneamente los estados de las líneas de un puerto, con instrucciones de escritura y de lectura a localidades de memoria. A este tipo de transferencias simultáneas de información digital se le llama de tipo paralelo. Existen dos posibles maneras para que las señales digitales sean leídas o generadas de forma inmediata, o con protocolo simple<sup>(18)</sup>.

### **Forma Inmediata (nonlatched)**

En una operación de escritura a un puerto, todas las líneas de salida se actualizan inmediatamente con la ejecución de la instrucción. En una operación de lectura, los estados presentes en todas las líneas del puerto son leídos inmediatamente con la instrucción de lectura. Las líneas digitales de salida se pueden utilizar para controlar eventos tales como encender o apagar calefactores, motores, o luces. En las líneas digitales de entrada se pueden leer los estados de interruptores de muy diversos tipos, tales como: mecánicos, electromecánicos, inductivos, capacitivos, electrónicos, y optométricos, entre otros. En la figura 4.9 se

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

muestra un ejemplo de una tarjeta o un modulo con dos puertos de 8 bits A y B, el primero de salida y el segundo de entrada. En la figura 4.9 el puerto B de entrada se puede leer el estado de señales TTL. La línea PB0 contiene el estado binario del interruptor. Con el interruptor abierto  $PB0=1$  y con el interruptor cerrado  $PB0=0$ . Por otro lado, para manejar altas potencias de CA a partir de señales binarias (normalmente tipo TTL), se requiere de circuitos de potencia, tales como: fotoacopladores, triacs, relevadores, electro-válvulas, etc.

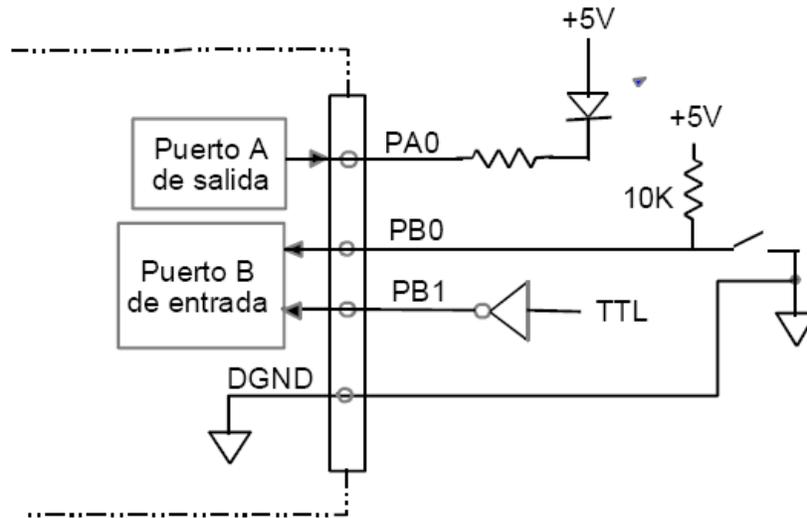


Figura 4.9 Puerto y líneas digitales (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

### Forma Síncrona o De Protocolo Simple (*latched*)

La actualización y transferencia de datos se produce por medio de un pulso de sincronía, el cual proporciona un protocolo simple para transferencia de datos digitales entre un instrumento y el puerto de una tarjeta DAQ, o inclusive, con el puerto paralelo estándar de una PC. Por ejemplo, después de que un scanner ha adquirido una imagen y está listo para enviarla al puerto, produce un pulso en la línea STB\* de la figura 4.10. Con este pulso, el puerto lee el primer patrón de la imagen (8, 16 o 32 bits), y envía un pulso, de reconocimiento (ACK) hacia el scanner para indicarle que el patrón ha sido ya leído. El scanner envía otro pulso

## CAPITULO 4 TARJETAS DAQ

al puerto cuando está listo para enviar el siguiente patrón, y el proceso se repite hasta que todos los patrones que forman la imagen han sido leídos por el puerto.

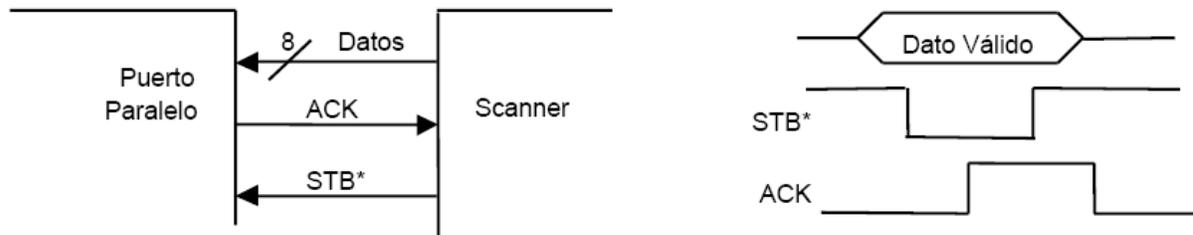


Figura 4.10 Transferencia de datos desde un scanner hacia el puerto de una PC o hacia una tarjeta DAQ

Otro ejemplo de transferencia de información hacia la impresora por medio del puerto paralelo estándar de una PC, tal y como se muestra en la figura 4.11. Ahora el puerto paralelo produce el pulso STB\* hacia la impresora, para informarle que tiene un dato disponible (carácter ASCII) en su entrada. Cuando la impresora lee el dato genera el pulso de reconocimiento ACK hacia el puerto, después del cual la PC puede transferir el siguiente dato.

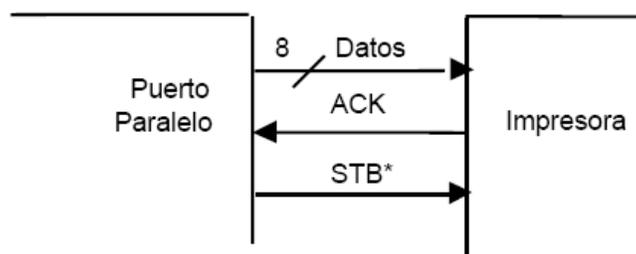


Figura 4.11 Transferencia de datos desde un puerto paralelo (PC o tarjeta DAQ) hacia una impresora (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

Los parámetros importantes a considerar para las entradas/salidas digitales son:

- El número de líneas digitales disponibles y como se agrupan en puertos.
- La velocidad a la cual se puede aceptar o enviar los datos digitales.
- La capacidad de acoplarse (niveles de voltaje y de corriente que pueden manejar).

### Contadores/Temporizadores

Los Contadores/Temporizadores son útiles para contar la ocurrencia de eventos discretos y para generar señales cuadradas y pulsos. Algunas importantes operaciones que se pueden realizar por medio de contadores son <sup>(12)</sup>:

- Medición de Frecuencia y periodo
- Medición de tiempo y ancho de pulso
- Conteo de eventos
- División de frecuencia
- Generación de pulsos

Estas aplicaciones se pueden realizar conectando los circuitos contadores de diversas formas, de acuerdo a sus señales básicas. En la figura 4.12 se muestra el modelo simple un contador, con una entrada de reloj (Clk), es una entrada de control (Gate), una salida (Out) y un registro de conteo interno, cuyo contenido puede ser leído o cargado a un determinado valor. La entrada de control habilita y deshabilita la función de contador. Si el contador está habilitado, entonces cada transición activa de la señal de reloj (Clk) incrementa o decrementa el contenido del registro de conteo. La señal de salida se puede configurar para generar un pulso o un cambio de nivel cuando el registro del contador alcanza un determinado valor. El valor más alto que puede alcanzar el contador es  $2^n - 1$  y se le llama cuenta terminal. Si el contador se decrementa la cuenta termina en cero.

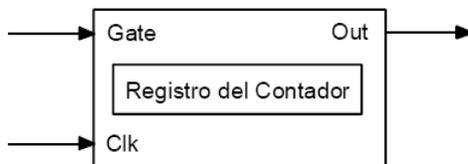


Figura 4.12 Modelo básico de un contador (Fuente: R.F. Coughlin et al. 1993)

Las especificaciones más significativas de los contadores son la frecuencia de reloj y su resolución. La resolución es el número de bits que utiliza el contador,

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

mientras mayor sea el número de bits, la resolución es mayor y la capacidad de conteo también es mayor. La frecuencia de reloj determina que tan rápido puede responder el contador. Con frecuencias mayores el contador se incrementa más rápido y por lo tanto puede detectar señales de mayores frecuencias de entrada y de salida se pueden generar pulsos y señales cuadradas de relativa alta frecuencia. Para manejar a los contadores de una tarjeta DAQ es importante saber cuántos contadores contiene y los modos de operación propios. En muchas tarjetas se utiliza al circuito integrado 82C53, el cual contiene tres contadores independientes de 16 bits y máxima frecuencia de reloj de 8 MHz. Cada contador es completamente programable para operar en uno de 6 modos y para contar en modo binario o decimal.

Una vez que se conocieron y comprendieron los elementos y funciones que componen un sistema de adquisición de datos, se procederá a diseñar el hardware del sistema de adquisición de datos de este proyecto.

### **4.7 Tarjetas de adquisición de datos**

En la actualidad el vertiginoso desarrollo de la electrónica y la microelectrónica han motivado que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando, por ejemplo: la industria, el hogar, los comercios, la agricultura, la ganadería, el transporte, las comunicaciones.

En todo ese proceso de automatización el microprocesador y el microcontrolador juegan un papel de suma importancia. Ellos han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes que resuelven los más diversos problemas, son los llamados sistemas de adquisición de datos (SAD).

El propósito de la adquisición de datos es medir un fenómeno eléctrico y físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. La adquisición de datos basada en PC utiliza una combinación de hardware modular, software de aplicación y una PC para realizar medidas. Mientras cada sistema de adquisición

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

de datos se define por sus requerimientos de aplicación, cada sistema comparte una meta en común de adquirir, analizar y presentar información. Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación, tal como se muestra en la figura 4.13.

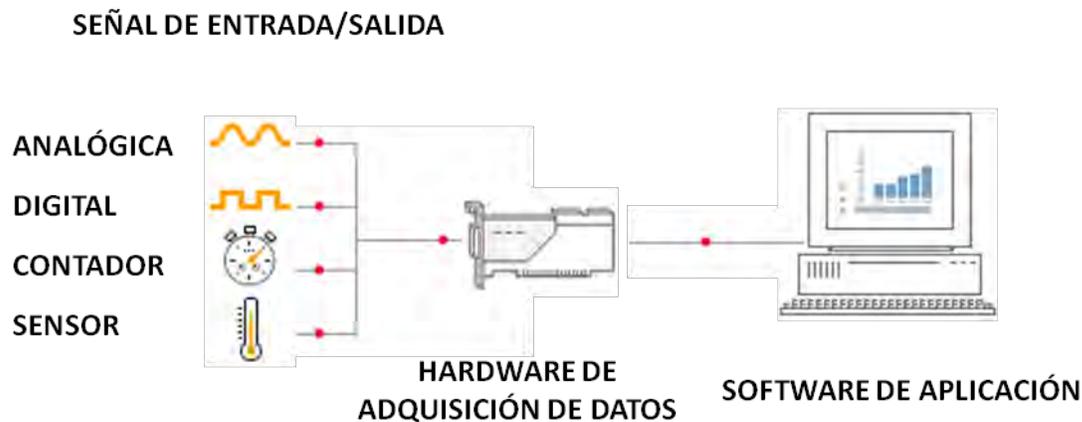


Figura 4.13 Sistema de adquisición de datos basado en PC (Fuente: National Instruments)

Para realizar un sistema de adquisición de datos, es necesario entender las partes que componen un sistema de medición tradicional:

**Fenómeno físico:** puede ser la temperatura, presión, humedad, flujo, la intensidad de una fuente luz, etc.

**Sensor:** es un dispositivo que convierte una propiedad física o fenómeno en una señal eléctrica medible, tal como voltaje, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. La capacidad de un sistema de adquisición de datos para medir los distintos fenómenos depende de los transductores para convertir las señales de los fenómenos físicos que se pueden medir en la adquisición de datos por hardware. Transductores son sinónimo de sensores en sistemas DAQ. Hay transductores específicos para diferentes aplicaciones, como la medición de la temperatura, la presión, o flujo de fluidos. DAQ también despliega diversas técnicas de acondicionamiento de señales para modificar

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

adecuadamente diferentes señales eléctricas en tensión, que luego pueden ser digitalizados usando amplificadores de señales y también convertidores analógico/digital.

Las señales pueden ser digitales (lógicas) o analógicas en función del transductor utilizado.

**Conectividad:** Para facilitar la conexión de cualquier transductor existen bloques de conexiones que facilitan la organización de los mismos.

**Acondicionamiento de señal:** Es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del convertidor analógico/digital. Esta adaptación suele ser doble y se encarga de:

- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del convertidor (Normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

La adaptación entre los rangos de salida del convertidor y el de entrada del convertidor tiene como objetivo el aprovechar el margen dinámico del convertidor, de modo que la máxima señal de entrada debe coincidir con la máxima que el convertidor puede entregar (pero no con la máxima tensión admisible, ya que para ésta entran en funcionamiento las redes de protección que el convertidor lleva integrada).

Por otro lado, la adaptación de impedancias es imprescindible ya que los transductores presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un convertidor, cuya impedancia típica suele estar entre 1 y 10 k.

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

El convertidor analógico/digital: es un sistema que presenta en su salida una señal digital a partir de una señal analógica de entrada, (normalmente de tensión) realizando las funciones de cuantificación y codificación.

La cuantificación implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos, de modo que para infinitos valores de la entrada la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. Por tanto la cuantificación implica una pérdida de información que no podemos olvidar.

La codificación es el paso por el cual la señal digital se ofrece según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al convertidor puedan leer estos datos adecuadamente. Este paso hay que tenerlo siempre en cuenta, ya que puede hacer que obtengamos datos erróneos, sobre todo cuando el sistema admite señales de polaridad positiva y/o negativa, momento en el cual la salida binaria del convertidor nos da tanto la magnitud como el signo de la tensión que ha sido medida.

**Computadora:** Después de los procesos anteriores es posible por medio de software crea aplicaciones que nos permitan interpretar, analizar y desplegar la información en la pantalla de nuestra computadora.

Con forme la tecnología a avanzado a permitido acoplar algunos de los procesos en un solo bloque, así es como el acondicionamiento de señal y la conversión analógica digital actualmente pueden estar trabajando en un solo bloque, mas aun existen bloques que ya permite la integración de una tercer etapa como es la de conectividad, permitiendo conectar nuestros sensores directamente a la tarjeta de adquisición. Véase Figura 4.14.



Figura 4.14 Sistema de medición tradicional (Fuente: Propia)

### **4.8 Constitución del nuevo Sistema de Adquisición de Datos (PXI)**

Para el diseño del nuevo sistema de Adquisición de Datos se tomaron en consideración, todas las señales analógico-digitales del sistema original descritas en el capítulo 3 y gracias a ellas, se determino la adquisición de tarjetas NI-PXI.

La adquisición de estas tarjetas dependió de un factor muy importante, que era el conocimiento de la programación de la interfaz bajo el programa LABVIEW y la versión 8.5 de este software. Este software enteramente desarrollado para aplicaciones de instrumentación nos permitía interactuar directamente con cualquier tarjeta de este fabricante, ya que tanto el software como las tarjetas pertenecen a la marca National Instruments.

Debido a que el ambiente en el que tenía que trabajar el sistema era muy agresivo al existir agentes corrosivos propios del estudio del petróleo, la determinación de una computadora industrial se hizo imprescindible. Por ello se realizo la adquisición de la computadora industrial NI PXI 1031.

#### **NI PXI-1031**

El sistema PXI (figura 4.15), básicamente es un ordenador embebido en un chasis compuesto de tres elementos:

- Un chasis, el cual alberga el propio bus. El chasis alberga varias ranuras o slots en los cuales se insertaran los módulos.
- Un controlador, el ordenador embebido en el módulo que se sitúa en el primer slot de chasis. El controlador puede ser local o remoto, para que el PXI pueda ser controlado desde un PC en caso de no estar embebido.
- Uno o varios periféricos, por ejemplo instrumentos (osciloscopios, generadores, etc.), módulos I/O, tarjetas DAQ, módulos de conmutación, etc.



Figura 4.15 Equipo PXI-1031 (Fuente: National Instruments)

También destaca el hecho de contar con entradas por puerto usb, acceso a red vía cable Ethernet, entrada para tarjetas tipo *Express card* y una salida para monitores tipo DVI y el sistema operativo Windows XP Professional instalado.

Tomando en cuenta las posibilidades con las que cuenta la PXI 1031 y las señales necesarias para el control y monitoreo del sistema de adquisición se adquirieron tres tarjetas de adquisición tipo PXI.

Las diferentes tarjetas de adquisición de datos fueron seleccionadas para cubrir los requerimientos de E/S tanto analógicas como digitales. A continuación se detallan las principales características de cada una de ellas.

### **NI PXI 6528**

Es una tarjeta DAQ de E/S digitales tipo industrial. Cuenta con 48 líneas de entrada/salida digitales de tipo TTL con aislamiento óptico entre canales para el uso en relevadores de estado sólido. También cuenta con un temporizador tipo *Watch Dog* (guardián). Para su conexión cuenta con un cable SH-100-F y un bloque de conexiones SCB 100 <sup>(21)</sup>, como se ve en la Figura 4.16.

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ



Figura 4.16 Tarjeta DAQ PXI-6528 (Fuente: National Instruments)

### NI PXI-6220

Es una tarjeta DAQ de 16 entradas analógicas de 16 bits, 24 líneas de entrada/salida digitales tipo TTL y dos contadores o temporizadores de 24 bits. Para su conexión cuenta con un cable SHC68-C68-EMP y un bloque de conexiones SCB68<sup>(22)</sup>. Véase Figura 4.17.



Figura 4.17 Tarjeta DAQ PXI-6220 (Fuente: National Instruments)

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

### NI PXI-6722

Tarjeta DAQ de 8 salidas analógicas de 13 bit de resolución y 8 E/S digitales tipo TTL y dos contadores o temporizadores de 24 bist. Para su conexión cuenta con un cable SHC68-68 y un bloque de conexiones SCC 68<sup>(23)</sup>, tal y como se observa en la figura 4.18.



Figura 4.18 Tarjeta DAQ PXI-6722 (Fuente: National Instruments)

Para la visualización y manejo del PXI 1031 se hace por medio de una pantalla LCD PLANAR PL1700, un mouse Logitech y un teclado Benq (Figura 4.19). Es importante mencionar que se puede utilizar cualquier pantalla, teclado y mouse de computadoras convencionales.



Figura 4.19 Sistema Control y monitoreo PXI 1031 (Fuente: Propia)

## CAPITULO 4 TARJETAS DAQ

Los bloques de conexiones permiten la conexión entre las tarjetas y el sistema de caracterización (figura 4.20). Así cada señal de las tarjetas puede identificarse fácilmente (figura 4.21).



Figura 4.20 Sistema PXI (Fuente: Propia)

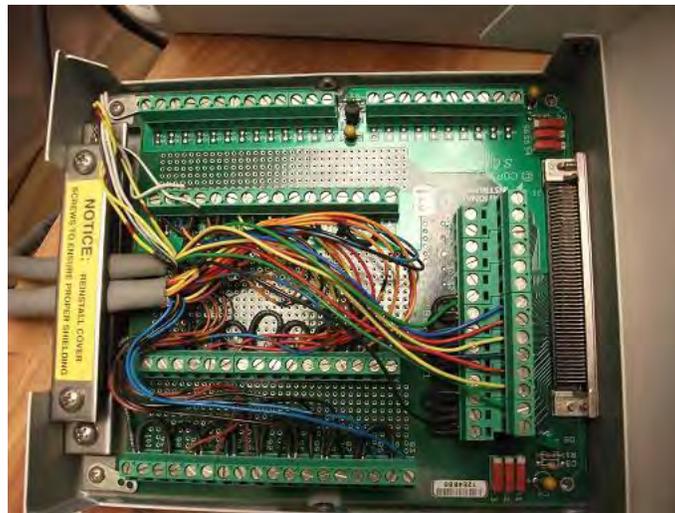


Figura 4.21 Bloque de conexión (Fuente: Propia)

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

Para la comunicación del sistema de caracterización y las tarjetas DAQ se implementaron conectores DB15, DB25 y DB37 (figura 4.22), que permiten conectar los bloques de conexión con el sistema de caracterización.



Figura 4.22 Conexión mediante DB15, DB25 y DB37 (Fuente: Propia)

Así el nuevo sistema de adquisición y la interfaz se acoplan al sistema de caracterización, con la facilidad de transportar el sistema de adquisición de datos y la HMI únicamente al desconectar los conectores DB15, DB25, DB37.

Las variables de control del nuevo sistema se encuentran distribuidas entre las tarjetas de adquisición y se enlistan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Entradas y salidas del sistema

SALIDAS DIGITALES							
NOMBRE	TARJETA	BLOCK	PUERTO	RANGO	PINES +	PINES -	COND INI
1 V01	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 0	0/5	97	98	1
2 V02	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 1	0/5	95	96	1
3 V03	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 2	0/5	93	94	1
4 V11	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 3	0/5	91	92	1
5 V12	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 4	0/5	89	90	1
6 V13	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 5	0/5	87	88	1
7 V21	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 6	0/5	85	86	1
8 V22	PXI6528	SCB-100	PORT3 LINE 7	0/5	83	84	1
9 V23	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 0	0/5	81	82	1
10 V31	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 1	0/5	79	80	1
11 V32	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 2	0/5	77	78	1
12 V33	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 3	0/5	75	76	1
13 V41	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 4	0/5	73	74	1
14 V42	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 5	0/5	71	72	1
15 V43	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 6	0/5	69	70	1
16 V51AB	PXI6528	SCB-100	PORT4 LINE 7	0/5	67	68	1
17 V61	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 0	0/5	65	66	1
18 V71	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 1	0/5	63	64	1
19 V81	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 2	0/5	61	62	1
20 V82	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 3	0/5	59	60	1
21 V83	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 4	0/5	57	58	1
22 V51CD	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 5	0/5	55	56	1
23 V51EF	PXI6528	SCB-100	PORT5 LINE 6	0/5	53	54	1
24 HORNO 1	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 0	0/5	52	4	0
25 HORNO 2	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 1	0/5	17	7	0
26 HORNO 3	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 2	0/5	49	9	0
27 MPVS ENABLE	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 3	0/5	47	12	1
28 MPVS 1'S	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 4	0/5	19	53	1
29 MPVS 2'S	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 5	0/5	51	50	1
30 MPVS 4'S	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 6	0/5	16	50	0
31 MPVC ENABLE	PXI6220	SCC-68	PORT0 LINE 7	0/5	48	50	1
32 MPVC 1'S	PXI6220	SCC-68	PORT1 LINE 0	0/5	11	44	1
33 MPVC 2'S	PXI6220	SCC-68	PORT1 LINE 1	0/5	10	44	1
34 MPVC 4'S	PXI6220	SCC-68	PORT2 LINE 2	0/5	43	36	0
35 TCD ENABLE	PXI6220	SCC-68	PORT3 LINE 3	0/5	42	36	1
36 WDOG	PXI6722	SCB-68	TIMER 1		2	36	2 Hz
SALIDAS ANALOGICAS							
VARIABLE	TARJETA	BLOCK	DIRECCION	RANGO	PIN +	PIN -	COND INI
1 TCD CURRENT SET	PXI - 6722	SCB - 68	A00	0-5	22	56	4.996
2 TCD ZERO	PXI - 6722	SCB - 68	A01	"+"-10"	21	55	-0.002
3 MFC0	PXI - 6722	SCB - 68	A02	0-5	57	23	0
4 MFC1	PXI - 6722	SCB - 68	A03	0-5	25	59	0
5 MFC2	PXI - 6722	SCB - 68	A04	0-5	60	26	0
6 MFC3	PXI - 6722	SCB - 68	A05	0-5	28	61	0
ENTRADAS ANALOGICAS							
VARIABLE	TARJETA	BLOCK	DIRECCION	RANGO	PIN +	PIN -	COND INI
1 TCD SIGNAL DIFERENCIAL	PXI - 6220	SCC - 68	AI0	"-10,+10"	68	34	0
2 TEMP HORNO1	PXI - 6220	SCC - 68	AI1	0-5	33	27	25°
3 TEMP MUESTRA 1	PXI - 6220	SCC - 68	AI2	0-5	65	29	25°
4 TEMP HORNO 2	PXI - 6220	SCC - 68	AI3	0-5	30	32	25°
5 TEMP MUESTRA 2	PXI - 6220	SCC - 68	AI4	0-5	28	56	25°
6 TEMP HORNO 3	PXI - 6220	SCC - 68	AI5	0-5	60	64	25°
7 TEMP MUESTRA 3	PXI - 6220	SCC - 68	AI6	0-5	25	59	25°
8 PRESION	PXI - 6220	SCC - 68	AI7	"-10,+10"	57	56	100mV
9 MFC0	PXI - 6220	SCC - 68	AI9	0-5	66	27	0
10 MFC1	PXI - 6220	SCC - 68	AI10	0-5	31	29	0
11 MFC2	PXI - 6220	SCC - 68	AI11	0-5	63	32	0
12 MFC3	PXI - 6220	SCC - 68	AI12	0-5	61	64	0
13 TCD CURRENT	PXI - 6220	SCC - 68	AI13	0-10	26	64	0
ENTRADAS DIGITALES							
NOMBRE	TARJETA	BLOCK	PUERTO	RANGO	PINES +	PINES -	COND INI
1 PULSSE VALVE READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 0	0/5	47	48	0
2 MPVS 1'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 1	0/5	45	46	1
3 MPVS 2'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 2	0/5	43	44	1
4 MPVS 4'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 3	0/5	41	42	0
5 MPVC 1'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 4	0/5	39	40	1
6 MPVC 2'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 5	0/5	37	38	1
7 MPVC 4'S READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 6	0/5	35	36	0
8 WATCH DOG READ	PXI6528	SCB-100	PORT0 LINE 7	0/5	33	34	2 Hz

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

Como podemos observar en la Tabla 4.1 todas las variables son similares a las que encontramos en el Keithley, a excepción de las variables de entrada de los MFC's, ya que ahora contamos con entradas analógicas independientes, ya no están multiplexadas.

Por otro lado, cada una de las variables cumple con las condiciones en cuanto al número e intervalo al cual trabajaban en el sistema original y se integran al 100% con el sistema de caracterización (sensores y actuadores).

Una ventaja de este nuevo sistema de adquisición de datos es la forma en la que se manipulan las señales de entrada y salida. Si por alguna razón se integrara o reemplazara alguna de las tarjetas DAQ, únicamente se modifica el direccionamiento de las señales, sin necesidad de reprogramar todo el sistema únicamente observando la tabla 4.1 y la siguiente información.

### **36 salidas digitales**

- 23 de ellas para el control de las válvulas solenoides mediante SSR's.
- 8 para manipulación del movimiento de los actuadores y válvulas multiposición (tres bits para determinar la posición y un bit para el habilitador del movimiento).
- 3 para el control de los relevadores que controlan las resistencias de calentamiento de los hornos.
- 1 bit para la protección del TCD (TCD ENABLE)
- 1 salida digital de 2Hz por medio de un temporizador para generar la señal del *Watch Dog*.

### **7 entradas digitales**

- 6 entradas digitales para conocer la posición de los actuadores multiposición (3 bits por cada uno)
- 1 entrada para conocer la posición de la válvula de pulso

### **13 entradas analógicas**

- 6 entradas analógicas para leer la temperatura de los hornos y de las muestras.
- 1 entrada para leer la presión que detecta el transductor de presión.
- 4 entradas para leer el valor de los MFC's
- 1 señal para la lectura de la corriente del TCD
- 1 señal diferencial de la señal del TCD

### **6 salidas analógicas**

- 4 salidas para determinar la salida de los MFC's
- 1 señal para ajustar el ZERO en el TCD
- 1 señal para determinar la corriente del TCD

Las tarjetas son compatibles con las especificaciones del estándar industrial Intel/Microsoft llamado "Plug and Play". Este programa administra y asigna los recursos del sistema, de tal manera que al conectar la tarjeta DAQ al sistema, se asegura que no existan conflictos con los recursos. En nuestro caso la tarjeta fue configurada por nuestro sistema como se muestra en la figura 4.14.

La otra configuración, la que programa las funciones propias de la tarjeta, se pueden realizar por medio del programa "Measurements and Automation" (MAX), o bien, por medio de las funciones que proporciona LabVIEW. El MAX es una utilidad que el fabricante de las tarjetas de adquisición de datos entrega con ellas.

El programa MAX permite probar y configurar cualquier tipo de tarjeta fabricada por NI. Si en el MAX se selecciona la opción de configurar se presenta un panel como el de la figura 4.15 donde se puede seleccionar el intervalo de las entradas analógicas, así como el tipo de las entradas. En nuestro caso las entradas analógicas se programan como entradas simples referenciadas con un intervalo de  $\pm 10$ . Desde el programa MAX también se puede abrir un panel de prueba como

## CAPITULO 4 TARJESTAS DAQ

se ilustra en la figura 4.23 por medio del cual es posible probar todas las funciones de la tarjeta.

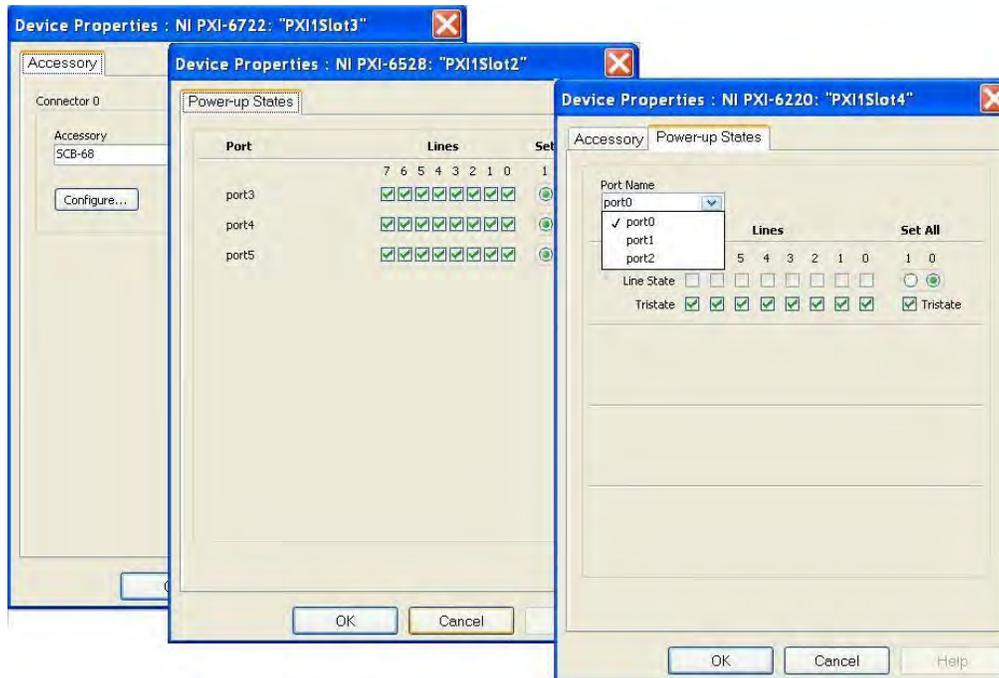


Figura 4.23 Configuración de las tarjetas dentro del sistema de la PC (Fuente: Propia)

En la figura 4.24 se ilustran los paneles de prueba, donde se selecciona un canal en particular y su intervalo, para tener una vista general de todas las variables y se hace un examen para saber cómo responden.

## CAPITULO 4 TARJETAS DAQ

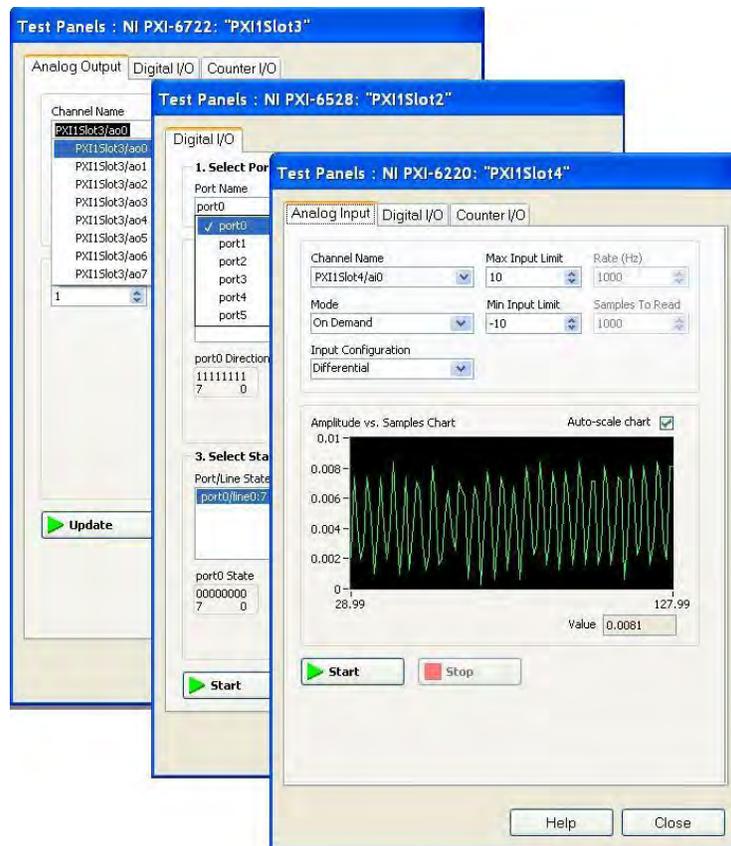


Figura 4.24 Panel de prueba dentro del programa "Measurements and Automation" para las funciones de las tarjetas DAQ (Fuente: Propia)

El siguiente diagrama de bloques de la figura 4.25 ilustra la forma que se instaló la computadora industrial PXI-1031 y las tarjetas de adquisición de dato en el sistema de caracterización.

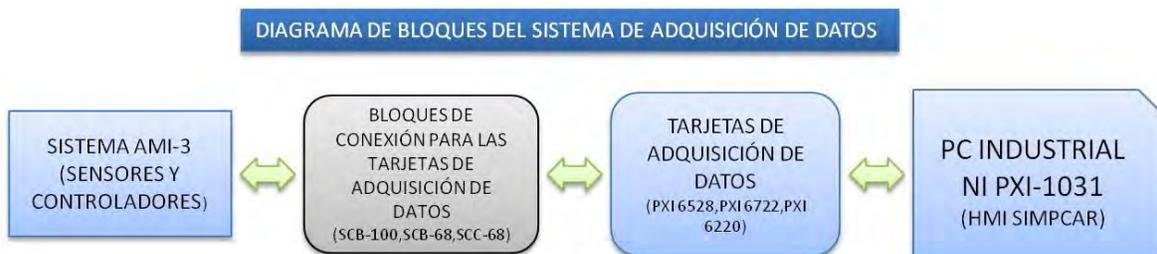


Figura 4.25 Diagrama de bloques del Sistema de adquisición de Datos (Fuente: Propia)

## CAPITULO 5: SOFTWARE

### 5.1 Introducción

En este capítulo se describe brevemente la utilidad del programa de instrumentación labVIEW y el desarrollo de la HMI “SIMPCAR.VI” desarrollada para el sistema de caracterización. También la descripción de su diagrama o programa fuente en LabVIEW y un algoritmo en pseudocódigo. También se presenta el pseudocódigo de un subinstrumento desarrollado y se describe a las principales componentes de su diagrama.

### 5.1 LabVIEW

LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngennering **W**orbench) es un sistema de programación para desarrollar aplicaciones de instrumentación, con extensas librerías de funciones y herramientas de desarrollo, similar a cualquier otro sistema moderno para programar en C, Basic, etc. <sup>(24) (25) (26) (27)</sup>. LabVIEW además incluye librerías de funciones diseñadas específicamente para realizar: adquisición de datos, análisis de señales, control de instrumentos con interfaces paralelo, serie y GPIB, presentación de información y almacenamiento de datos. Como en otros sistemas de programación LabVIEW también incluye herramientas de desarrollo, tales como puntos de paro, ejecución por paso, y animación para observar gráficamente el flujo de datos. El ambiente de desarrollo permite crear programas en lenguaje gráfico G, cuya principal diferencia con otros lenguajes tradicionales es que en éstos la programación se basa en líneas de texto para crear el código fuente, mientras que en G el código se genera en forma de diagramas a bloques, lo cual elimina los detalles de sintaxis. Los programas escritos en G de LabVIEW se llaman *instrumentos virtuales* porque su apariencia y operación puede imitar a

## CAPITULO 5 SOFTWARE

un instrumento real. Los instrumentos virtuales son similares a las funciones de otros lenguajes convencionales.

Un *instrumento virtual* (VI) es un programa escrito en lenguaje gráfico G que tiene todas las características de un instrumento real<sup>(24) (25)</sup>. En particular, un VI tiene un panel frontal desplegado en la pantalla de la computadora y es operado con el teclado y/o ratón. Un programa en LabVIEW representa una interconexión de componentes (objetos) que ejecutan la función del instrumento virtual, y puede establecer una interface de comunicación con otros VIs. Un operador puede controlar un VI desde su panel frontal y otro VI puede controlarlo pragmáticamente a través de una interfaz de llamado. Un VI puede ser llamado por otro VI de mayor jerarquía. Un VI que se encuentre dentro de otro VI de mayor nivel es llamado *subinstrumento virtual* (subVI), y es equivalente en G de las funciones o subrutinas de otros lenguajes. Esta habilidad jerárquica de diseñar VIs es importante porque permite programar en forma modular sistemas grandes y complejos. El lenguaje gráfico simplifica cálculos científicos, el monitoreo y control de procesos, y las aplicaciones de prueba y medición.

### 5.2 Instrumento virtual (VI)

Un instrumento virtual es un programa en LabVIEW cuya apariencia y operación simulan a un instrumento real y consta de tres elementos importantes: *Panel frontal*, *Diagrama a Bloques*, e *Icono/Conector*<sup>(25)</sup>. En las siguientes líneas se describen estos tres elementos.

#### ***Panel Frontal***

Es una interfaz interactiva, que simula el panel de un instrumento real. El Panel Frontal de un VI es una combinación de controles (entradas del usuario por medio del teclado y el ratón, en forma de perillas, botones, valores numéricos, etc.). Los controles tienen elementos usados en el Diagrama a Bloques del VI, los *indicadores* muestra datos medidos o generados por el mismo. En la figura 5.1 se

## CAPITULO 5 SOFTWARE

muestra el panel de un VI llamado “Monitoreo de Temperatura.vi” (con extensión.vi), el cual aparece en la pantalla cuando se abre el archivo.

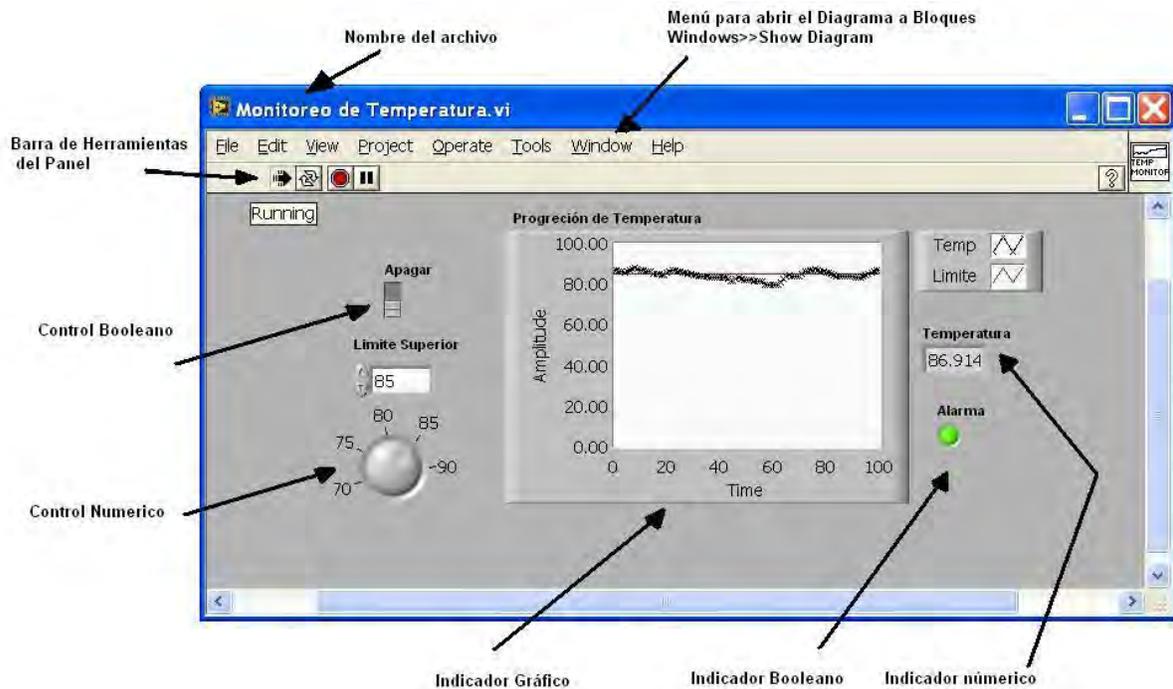


Figura 5.1 Panel frontal (interfaz de usuario) del VI llamado “Monitoreo de Temperatura.vi” (Fuente: Propia)

### **Diagrama de bloques**

Es un diagrama de íconos interconectados por flujos de datos y representan el código fuente del VI en lenguaje gráfico G<sup>(24)</sup>. El diagrama se construye alambrando objetos que envían o reciben datos, realizan funciones específicas y controlan el flujo de ejecución. Los objetos del panel frontal tienen una correspondiente terminal en el diagrama a bloques, de tal manera que se pueden pasar datos entre el usuario y el programa. En la figura 5.2 se muestra el diagrama a bloques del VI “Monitoreo de Temperatura.vi”.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

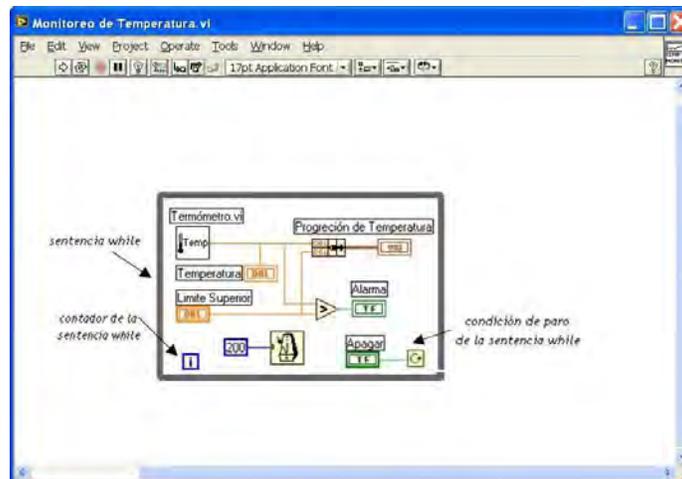


Figura 5.2 Diagrama de Bloques (código fuente en modo gráfico) del VI llamado “monitoreo de Temperatura.vi” (Fuente: Propia)

Los objetos del diagrama a bloques son fundamentalmente de tres tipos: *nodos*, *terminales* y *alambres*. Los *nodos* son elementos de ejecución del programa y son análogos a las sentencias, operaciones, funciones, y subrutinas en otros lenguajes convencionales. Las terminales son los puntos de entrada y salida con el panel frontal, cada indicador tiene su terminal de salida en el diagrama. Los alambres son trayectorias de datos entre los nodos y terminales. El flujo de datos de un nodo a otro establece el orden de ejecución de un programa escrito en G. Un nodo se ejecuta solo cuando todas sus entradas han arribado y proporcionan datos a sus terminales de salida cuando termina su ejecución.

Como se ha mencionado, en el panel existen dos tipos de objetos: *controles*, que son fuente de datos e *indicadores* para mostrar el valor de los datos. En el diagrama a bloques estos dos objetos son diferenciados por su contorno: en los *controles* es más grueso que en los *indicadores*. En LabVIEW los colores en el diagrama a bloques son importantes porque identifican el tipo de datos que manejan los nodos y las conexiones, por ejemplo: Naranja Flotantes, Azul Enteros, Verde Booleanos, Rosa Cadenas, Café Paquetes de elementos de diferente tipo (se les llama “cluster” y es similar a la sentencia *struct* en C).

Ahora examinemos los objetos que forman el Diagrama a Bloques de la figura 5.2.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

 **Limite Superior** Terminal de *control* numérico “Limite Superior” (entrada del panel).

 **Temperatura** Terminal del *indicador* numérico “Temperatura” (salida hacia el panel).

 **Apagar** Terminal del control booleano “Apagar” (entrada).

 **Alarma** Terminal del indicador booleano “Alarma” (salida).

 **Progresión de Temperatura** Terminal del indicador gráfico (salida).



Es una sentencia *while* que ejecuta repetidamente el diagrama contenido dentro del bloque, mientras su condición de paro sea un valor falso. En la figura 5.2 el programa se ejecuta indefinidamente hasta que se activa el control booleano del panel “Apagar” a un valor verdadero.



Es un VI utilizado como un subVI que se llama “Termometro.Vi”, el cual regresa un valor, en cada repetición del *while*, que simula una temperatura medida.



Es una función de retardo con valor entero de entrada que representa el tiempo de espera en ms. En la figura 5.2 la sentencia *while* se repite cada 200ms. (valor de una constante entera azul).



Realiza una función de comparación. En la figura 5.2, cuando la “Temperatura” medida es mayor que el “Límite Superior” su salida es verdadera y enciende el indicador booleano de “Alarma” en el panel.



Esta función (bundle) empaqueta elementos de diferentes tipos de datos. En la figura 5.2 se utiliza para empaquetar la información de “Temperatura” y “Límite Superior” hacia el indicador gráfico.

### ***Icono/conector***

Permiten que un VI sea llamado por otro VI de mayor jerarquía. Un VI que se encuentre dentro del diagrama de otro VI de mayor nivel es llamado *subinstrumento virtual* (subVI), y es un equivalente en G de las funciones o subrutinas de otros lenguajes. Los controles e indicadores de un subVI reciben y envían datos con el diagrama del VI de llamada. El *ícono* es una representación pictórica de un VI dentro del diagrama de otro VI. EL *conector* es un conjunto de terminales que corresponden a los controles (entradas) e indicadores (salidas) del subVI. El conector es similar a la lista de párametros en función o subrutina, donde las terminales del conector actúan como parámetros. Cada terminal del conector corresponde a un particular control ó indicador del panel del VI. El *conector* recibe datos en sus terminales de entrada y pasa datos al código del subVI a través de sus controles, o bien, recibe resultados en sus terminales de salida a través de los indicadores en el panel del subVI.

En la figura 5.3 se muestra el panel y el diagrama del VI "Termómetro.vi", el cual se utiliza como subVI en el diagrama del instrumento "Monitoreo de Temperatura" de la figura 5.2. El ícono/conector del VI se localiza en el extremo superior derecho de ambas ventanas. El subVI que a su vez se utiliza dentro del diagrama produce un valor que simula el voltaje proporcionado por un sensor de temperatura, o bien, puede ser el VI que maneje una tarjeta de adquisición de datos. Con el uso del subVI se pueden crear diagramas en forma modular de tal manera que los VIs creados sean fáciles de entender, mantener y de explorar. Una característica importante de los subVIs es que pueden ser ejecutados y corregidos en forma individual e independiente del programa principal.

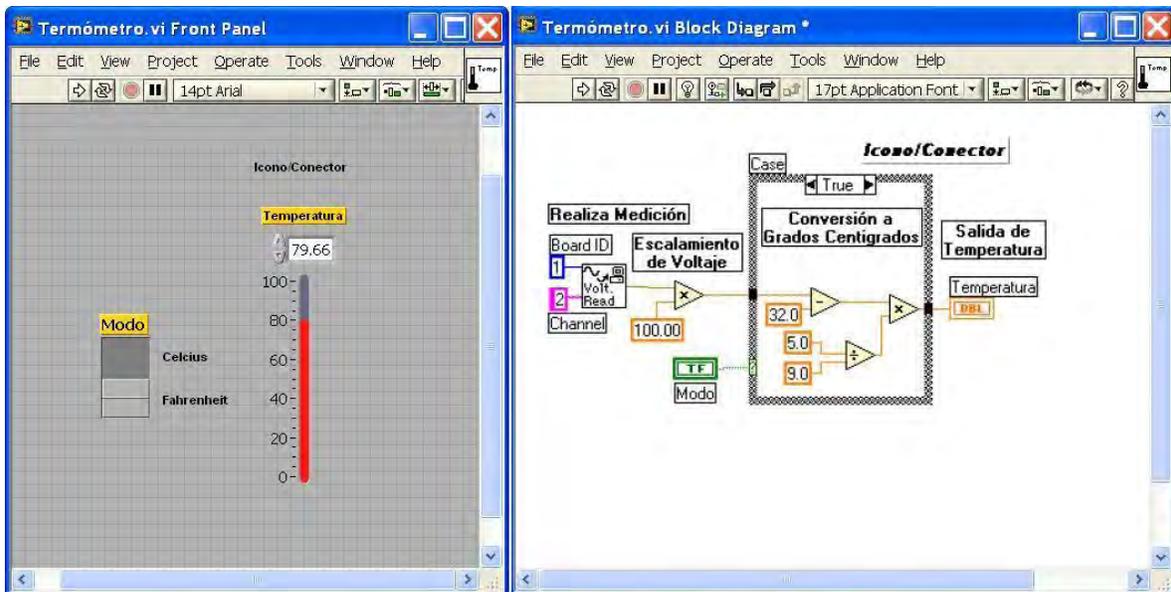


Figura 5.3 Panel frontal y diagrama a bloques del SubVI “Termometro.vi” (Fuente: Propia)

## 5.4 Metodología del diseño

Una propiedad importante del lenguaje G es la naturaleza jerárquica de los VI que se diseña; después de crear un VI, éste puede ser utilizado como un subVI en el diagrama a bloques del VI de mayor nivel. El problema a resolver se debe dividir en piezas lógicas manejables (VIs), es decir, el principal objetivo es dividir las tareas de programación en bloques de diferente nivel que puedan ser manejados fácilmente. Es recomendable interconectar los bloques (VIs) con sus entradas y salidas para formar un diagrama que represente una propuesta de solución. Para una aplicación específica se puede iniciar diseñando el VI de mayor nivel jerárquico con sus entradas y salidas definidas para esa aplicación, después se pueden construir los subVIs necesarios para realizar las operaciones de menor nivel. LabVIEW también permite iniciar con el diseño de los subVIs y después continuar con un diseño ascendente de bloques hasta crear el VI principal. Algunas recomendaciones importantes en la creación de instrumentos virtuales en el lenguaje gráfico G son las siguientes:

## CAPITULO 5 SOFTWARE

- Proponer una solución general del problema conjuntamente con los problemas específicos de menor nivel. Es aconsejable plantear la solución en un diagrama a bloques con un nivel jerárquico.
- Utilizar un procedimiento modular para contruir subVIs donde se encuentre una división lógica de tareas o un posible potencial de reuso del nodo.
- Después de ensamblar un grupo de subVIs se debe analizar en términos generales, la función de cada bloque y como proporciona los resultados deseados hacia otros subVIs.
- Asegurarse de que el diagrama a bloques de mayor nivel contiene los alambres necesarios para pasar datos entre los VIs que forman.
- Enlistar tipos de entradas y salidas, velocidades de muestreo, necesidad de análisis en tiempo real, presentación de datos, etc., para cada VI propuesto.
- Crear una apariencia inicial del panel y diseñar las funciones. Realizar un proceso interactivo para rediseñar el panel y las funciones finales.
- Probar y explorar individualmente los subVIs creados.

Cuando se consideran los detalles de los subVIs es posible encontrar que el diseño original está incompleto. Por ejemplo al final se puede encontrar que es necesario transmitir más información de un subVI a otro. Utilizando subVIs en forma modular para realizar una función específica, es mas fácil reorganizar un programa completo.

### **5.5 Prototipo del panel**

#### ***Menu de controles***

Con las entradas y salidas propuestas para un bloque se puede inicial el diseño del panel frontal. El menú principal de LabVIEW se selecciona la opción File>>New y aparece un panel vacío. Posicionando al ratón dentro del panel y oprimiendo su botón derecho aparece un Menú de Controles e Indicadores como

## CAPITULO 5 SOFTWARE

se muestra en la figura 5.4, donde se indican los nombres originales de cada uno de los botones del menú <sup>(25)</sup> <sup>(26)</sup>.

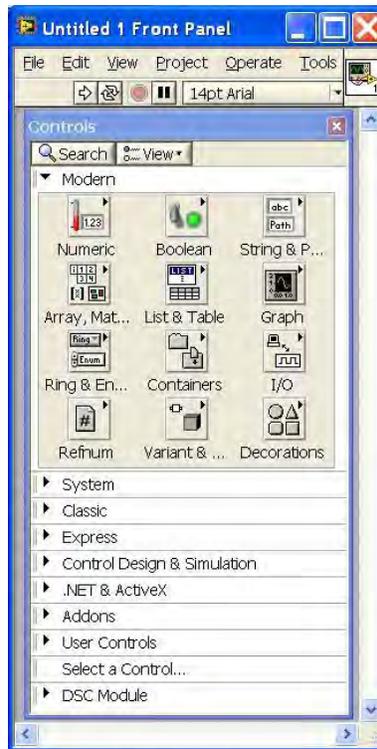


Figura 5.4 Menú de controles e indicadores en el panel (Fuente: Propia)

El Menú de controles también se pueden seleccionar desde el menú principal eligiendo la opción Windows>>Show Control Palette. Cuando se tiene el Menú de Controles sobre el panel, con el ratón se debe apuntar el botón del tipo de control o indicador que se desea colocar en el panel. Por ejemplo, en el panel de instrumento “Monitoreo de Temperatura.vi” mostrado en la figura 5.1 se tienen dos controles: Apagar (booleano) y Limite Superior (numérico) y tres indicadores: Progresión de Temperatura (gráfico), Temperatura (numérico) y Alarma (booleano).

## CAPITULO 5 SOFTWARE

En la figura 5.5 se muestra el Menú de Controles para insertar en el panel un indicador numérico. El ratón se posiciona primero en el Botón Numeric y aparece el submenú mostrado. Después se llama al ratón dentro del submenú para seleccionar un objeto particular. En la figura, el ratón se encuentra seleccionando un indicador digital, cuando se oprime cualquier botón del ratón se ocultan las ventanas de los menús y en el panel aparece el objeto seleccionado con su contorno en líneas puentadas, tal y como se muestra en la figura 5.6. El objeto se puede mover con el ratón y posicionarlo en cualquier lugar dentro del panel cuando se oprime nuevamente cualquier botón del ratón.

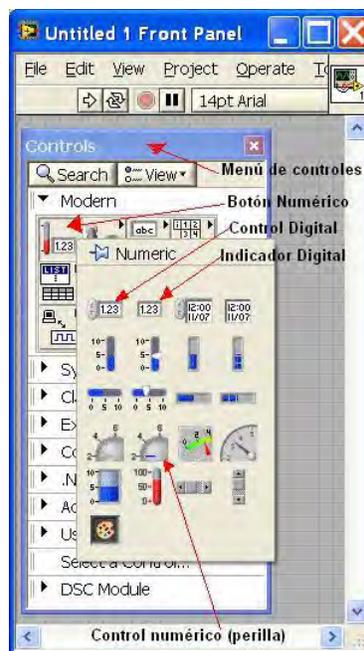


Figura 5.5 Submenú del botón numérico (Fuente: Propia)

Cuando se posiciona el indicador numérico inicialmente aparece un bloque en su parte superior, como en la figura 5.6 donde se puede introducir una etiqueta de identificación para su correspondiente terminal en el diagrama. A esta etiqueta se la puede llamar “Temperatura” para el indicador numérico de la figura 5.1

## CAPITULO 5 SOFTWARE

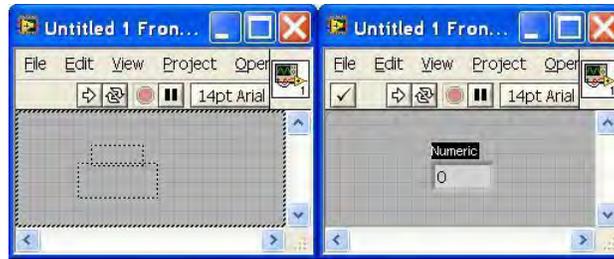


Figura 5.6 Colocación de un objeto en el panel (Fuente: Propia)

Cuando el ratón se posiciona en algún objeto y se imprime su botón aparece un menú con diferentes opciones de configuración del objeto. En la figura .5.7 se ha seleccionado la opción “Representación” para el indicador llamado “Temperatura”, la cual a su vez presenta un submenú con diferentes tipos de valores numéricos. En nuestro caso se selecciona un flotante de doble precisión (DBL), tal y como se muestra en la figura 5.7.

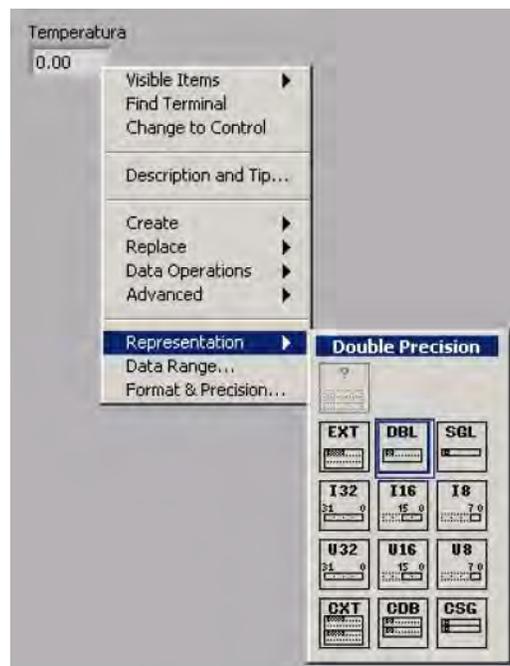


Figura 5.7 Ejemplo de un menú de configuración para controles e indicadores (Fuente: Propia)

El control numérico “Límite Superior” que se presenta en el panel de la figura 5.1 se coloca de una manera similar, pero ahora en el menú se selecciona el ícono de

## CAPITULO 5 SOFTWARE

un control numérico en forma de perilla (figura 5.5). En el panel de la figura 5.1 se tiene dos objetos de tipo booleano: el control “Apagar” y el indicador “Alarma”. Estos objetos se pueden incrustar al panel desde el submenú del botón booleano tal y como se muestra en la figura 5.8. En esta figura también se presenta el submenú de indicadores gráficos que se invoca con el botón “graph” en el Menú “Controls”, por medio del cuál se puede insertar el indicador “progresión de Temperatura” de la figura 5.1

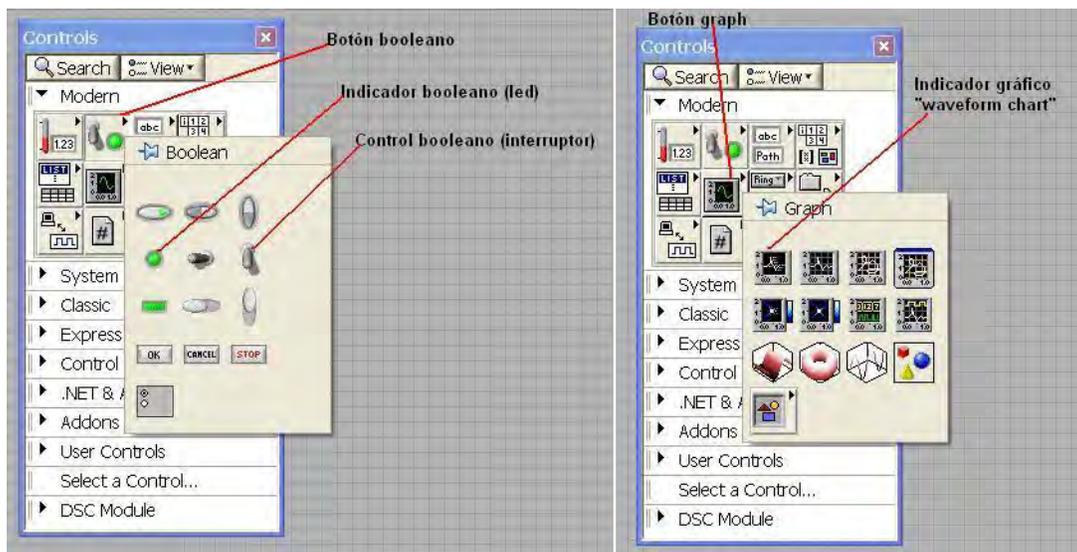


Figura 5.8 Submenú de controles e indicadores booleanos y submenú de indicadores gráficos (Fuente: Propia)

En la figura 5.9 se muestra el prototipo del panel con los objetos seleccionados y etiquetados como en figura 5.1, así como el correspondiente diagrama de bloques con las terminales de los objetos insertados en el panel.

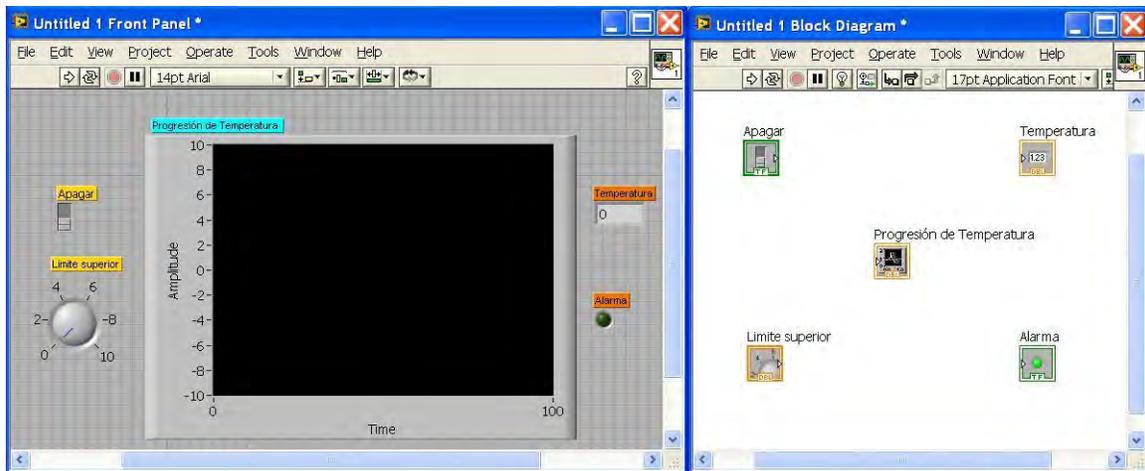


Figura 5.9 Objetos en el panel y sus correspondientes terminales de conexión en el diagrama (Fuente: Propia)

### 5.6 Alambrado del diagrama

#### ***Menu de herramientas***

Antes de iniciar el alambrado del diagrama veamos el Menú de Herramientas que se invoca desde el menú principal con Windows>>Show Tools Palette. Los botones de éste Menú de Herramientas para el panel y el diagrama se describen en la figura 5.10. Cuando se selecciona una herramienta, el apuntador del ratón toma la forma del ícono de la herramienta seleccionada. Las diferentes herramientas del menú se pueden cambiar progresivamente con la tecla Tab, el apuntador del ratón indica la herramienta seleccionada <sup>(24)</sup> <sup>(25)</sup>.

## CAPITULO 5 SOFTWARE



Figura 5.10 Panel de herramientas (Fuente:Propia)

Para interconectar los diversos objetos localizados en el panel se utiliza la herramienta para alambrear (ícono de carrete) del Menú de Herrameintas. El carrete aparece como apuntador del ratón, el cuál se debe colocar sobre el objeto que se desea alambrear. Cuando se oprime el botón izquierdo del ratón se inicia la conexión y el ratón debe ser desplazado hasta el otro objeto con el cuál se desea hacer la conexión. Cuando se oprime nuevamente el botón izquierdo del ratón, la conexión finaliza. En la figura 5.11 se presenta una simple conexión de un control a un indicador del mismo tipo, de acuerdo a los objetos del diagrama de la figura 5.9.

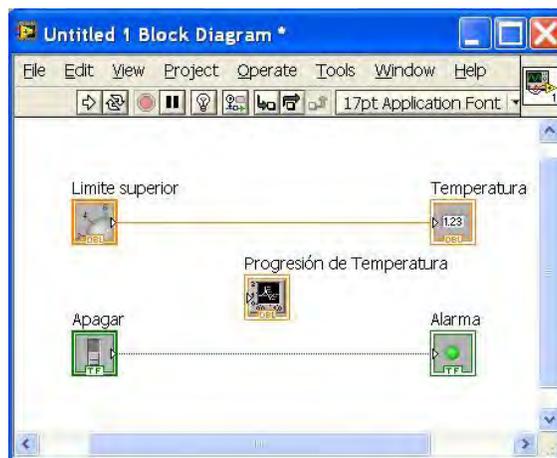


Figura 5.11 Conexión de terminales (Fuente: Propia)

### ***Menu de funciones***

Así como en el panel, se puede invocar un Menú de Controles e Indicadores. En el diagrama se puede invocar un Menú de Funciones con el botón derecho del ratón, ó con la opción Windows>>Show Functions Palette del menú principal. LabVIEW cuenta con utilerías muy completas para realizar cualquier tipo de operaciones, cálculos y comparaciones con tipos enteros, booleanos, cadenas y arreglos. LabVIEW además incluye librerías de funciones diseñadas específicamente para realizar adquisición de datos, análisis de señales, control de instrumentos con interfases paralelo, serie y GPIB, presentación de información y almacenamiento de datos, entre otras.

En la figura 5.12 se muestra el Menú de Funciones con su botón de Estructuras selccionado, el cual presenta un submenú con las sentencias de control básicas de cualquier lenguaje formal de programación. En el diagrama del instrumento “Monitoreo de Temperatura.vi” mostrado en la figura 5.2, se observa que el programa utiliza un sentencia while. Para incrustar esta sentencia al diagrama, el ratón debe apuntar a su icono y seleccionarlo con el botón izquierdo. El objeto incrustado se presenta en el diagrama con su contorno en líneas punteadas y su tamaño puede ser modificado y desplazado con la herramienta selectora de objetos. Los demás objetos que aparecen en el diagrama de la figura 5.2 se incrustan de manera similar, escogiendo los menús de funciones apropiados. En la figura 5.13 se indican algunos otros botones del menú de Funciones.

# CAPITULO 5 SOFTWARE

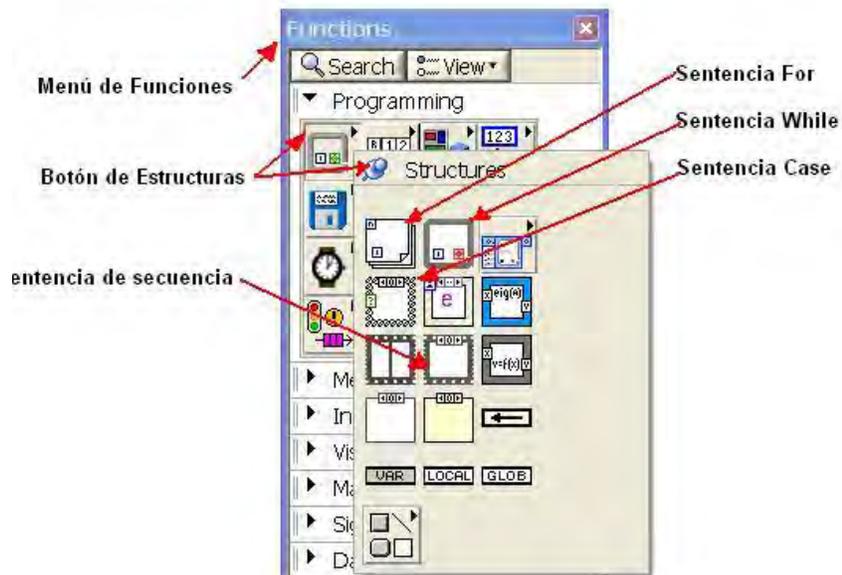


Figura 5.12 Menú de Funciones con el submenú de Estructuras (Fuente: Propia)

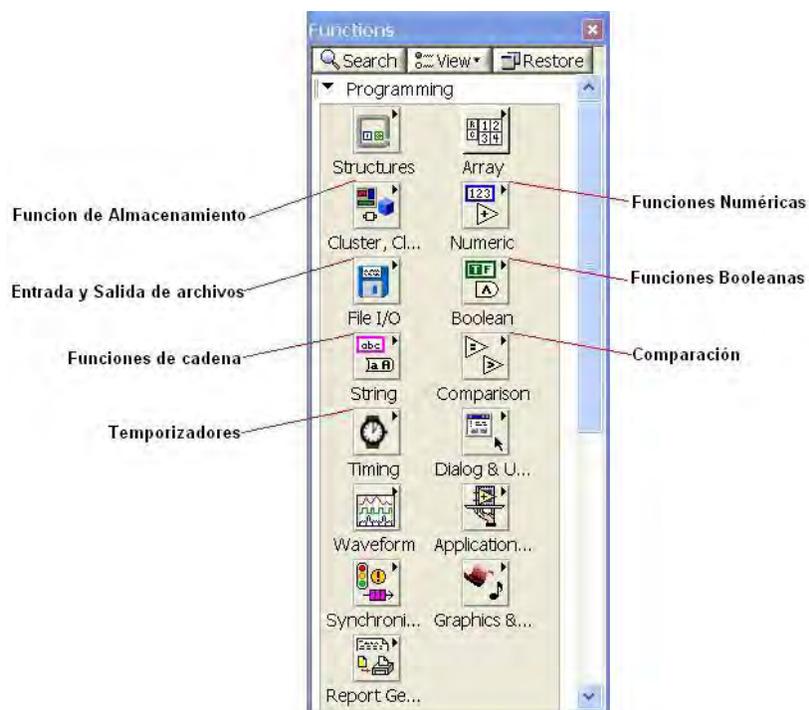


Figura 5.13 Algunos botones del menú de Funciones (Fuente: Propia)

### 5.7 Sistema IMP de Caracterización (SIMPCAR.VI)

Se desarrollo un aplicación llamada <<SIMPCAR>>, para operar de manera integral al AMI-3 por medio de tarjetas de adquisición de datos NI PXI-6528, NI PXI-6722, NI PX-6220 y una computadora industrial NI PXI-1031. El programa se escribió en el lenguaje gráfico para el usuario, LabVIEW. El programa principal utiliza varios subinstrumentos virtuales (subVI) los cuales son equivalentes a las funciones o subrutinas de otros lenguajes formales, pero con la característica y ventaja de que pueden ser ejecutados y corregidos en forma individual e independiente del programa principal.

La aplicación o HMI desarrollado permite generar una serie de rutinas para llevar a cabo: la definición, calendarización y ejecución de experimentos a temperatura programada. El programa permite monitorear cada uno de los dispositivos del sistema, además de generar un archivo de datos “crudos” durante el experimento para producir gráficas de temperatura vs TCD, temperatura vs flujo, temperatura vs tiempo.

Los datos crudos se utilizan para determinar algunas características importantes del catalizador.

La aplicación tiene la capacidad de realizar las siguientes acciones.

- Enviar comandos a las tarjetas de adquisición para producir voltajes de salida y las palabras de control para accionar las válvulas.
- Generar un pulso de reloj para el *Watch dog*.
- Leer los voltajes de los módulos de termopares, controladores de flujo másico, TCD
- Generar un archivo de configuración.
- Generar una base de datos de los gases (máx. 20).
- Generar una base de datos de los metales (máx. 20).
- Determinara el flujo de salida de los MFC'S.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

- Determinar la posición de las válvulas multiposición.
- Determinar la sensibilidad del TCD (corriente).
- Controlar la temperatura de los 3 hornos de calentamiento.
- Editar los experimentos.
- Calendarizar los experimentos.
- Abortar el sistema.

### 5.8 Panel

Cuando se inicia el programa y antes del panel principal, en el monitor, de manera secuencial, aparecen 4 paneles frontales, más un subVI entre ellos que no aparece, pero es relevante en el inicio de la aplicación. Los cuatro paneles que aparecen cumplen varias funciones, entre ellas actualizar el sistema y llevarlo a un modo de “inicialización”, cargar los archivos de configuración del equipo, revisar si el equipo se encuentra en forma optima y generar la señal de reloj para el *Watch Dog*, necesaria para encender el equipo. Cada uno de estos 4 paneles y el subVI, a su vez están haciendo uso de diversos subVIs. Estos paneles o SubVIs iniciales son:

- Bienvenida.vi
- Check.vi
- Reset.vi (este subVI no aparece en pantalla)
- Load.vi
- Login.VI

***Bienvenida.VI***

La figura 5.14 muestra el subVI Bienvenida.vi cuya función es presentar el Sistema de Caracterización e inicializar la señal de Watch Dog y el encendido del sistema. Esta pantalla tiene una duración de 5 segundos.



Figura 5.14 Pantalla de bienvenida del SIMPCAR (Fuente: Propia)

***Check.VI***

Después de la pantalla anterior aparece esta y tiene como finalidad indicarle al usuario mover el interruptor mostrado en la figura 5.15 a la posición de encendido. Antes de que se carguen los valores iniciales y el archivo de configuración es necesario encender de forma manual el sistema, por lo cual se presenta esta pantalla, como recordatorio.

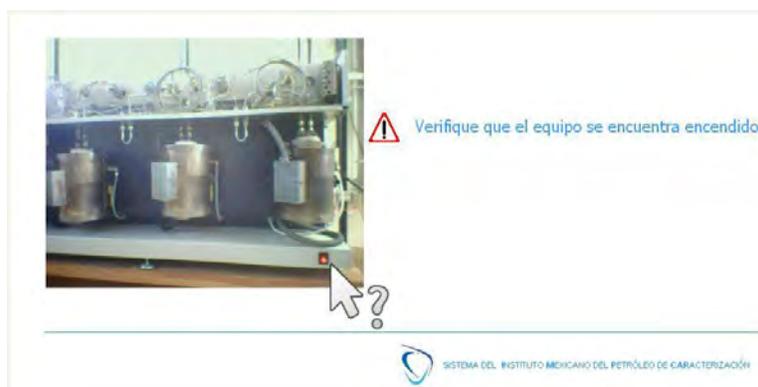


Figura 5.15 Pantalla de Chequeo del Sistema *Check.vi* (Fuente: Propia)

### **Reset.VI**

Además de realizar una revisión de las señales y funciones de comunicación en el Sistema, este RESET.vi lleva todos los componentes a su estado inicial. El estado inicial, no es otra cosa que la llevar los controladores, válvulas solenoides, hornos de calentamiento y MFCs a una condición segura para el sistema. Por ejemplo el flujo debe ser nulo en los MFCs, por tanto el valor del control deberá ser 0 volts de salida. Sin embargo las válvulas multiposición deben estar en una posición en la cual permita el libre flujo entre los MFCs y los horno, en el caso será la posición 4 de 4 posibles, mediante tres bits de posición 0, 1, 1, tipo BCD.

Un caso especial en el RESET del sistema es el valor para el control de la corriente del TCD. Ya que la fuente de corriente con que cuenta el TCD se encuentra en un rango de 300mA a 0 mA. El control de la corriente que alimenta al TCD se hace mediante una señal de 0 a 5 Volts, donde 5 volts es el valor para 0 mA y 0 volts para un valor de corriente de 300mA. Para el inicio del sistema el valor inicial para la fuente de corriente es de 5 Volts o 0 mA. De otra manera el TCD corre el riesgo de que sus filamentos se “quemen” si por ellos pasa corriente y no hay presencia de gas de acarreo.

Cabe destacar que para este subVI (figura 5.16), no existe una pantalla emergente a la hora de correr el programa, simplemente se limita a generar instrucciones sin aparecer en la interfaz.



Figura 5.16 Reset.vi (Fuente: propia)

### **Load.VI**

Generalmente en los sistemas de adquisición encontramos archivos de configuración, mismos que son generados y guardados cuando se realizan cambios en la configuración del sistema. En este caso, el archivo de configuración está integrado por valores, tanto de las variables del medio, como de valores necesarios para los diferentes cálculos como temperatura, presión atmosférica local, valores PID, nombre y constante de gases, rango de los MFCs, etc. Estos valores se almacenan en un archivo con nombre “CONF.cfg” que se guarda en el directorio raíz C:\. Este subVI (LOAD.VI) se encarga de configurar el sistema a partir de la lectura de dicho archivo, tal y como se puede observar en la Figura 5.17.

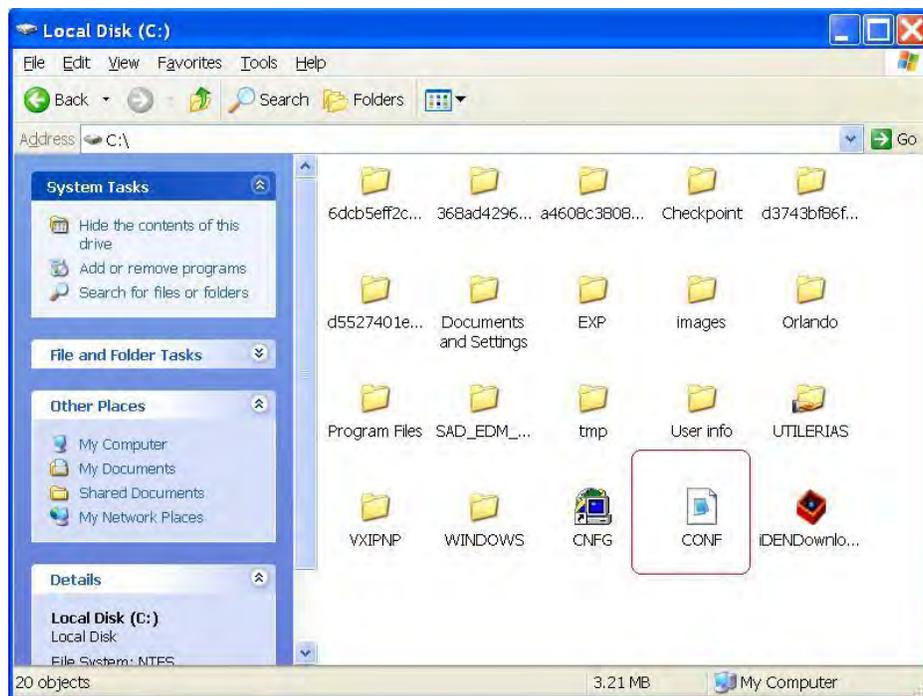


Figura 5.17 Archivo CONF.cfg en directorio raíz (Fuente: Propia)

En la figura 5.18 se observa el panel frontal de LOAD.vi donde se cargan la configuración desde el archivo CONF.cfg.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

Antes de cargar el archivo, el programa inspecciona de manera rápida la comunicación entre el sistema y la interfaz, mediante una revisión de entradas y salidas digitales de las válvulas multiposición, por ser las de mayor importancia y ser una forma fácil de encontrar errores.



Figura 5.18 Panel frontal "Load.vi" donde se carga el archivo de configuración (Fuente: Propia)

La revisión de los componentes del sistema permite llevar a cabo los experimentos sin contratiempos y mantenerlo protegido si es que existiese algún componente que no se esté comunicando con la interfaz. En primera instancia manda un mensaje al usuario para que verifique si el sistema se encuentra alimentado con 220V, o que algún cable se encuentra desconectado. Si no se ha resuelto el problema y se ha oprimido cualquier tecla en tres ocasiones el sistema abortara para evitar posibles daños. La pantalla se puede ver en la figura 5.19.

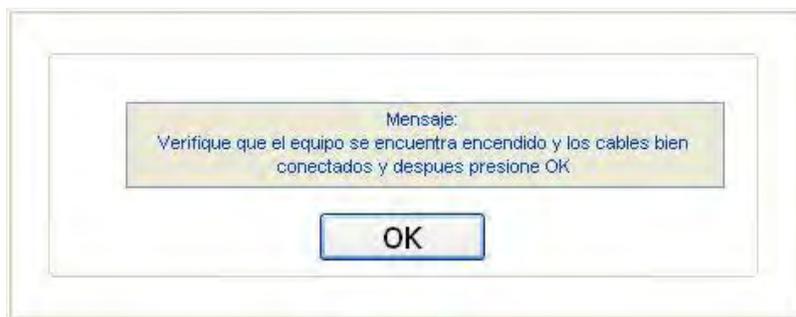


Figura 5.19 Mensaje de aviso (Fuente: Propia)

### ***Login.VI***

Debido a que el sistema no solo es operado por una única persona, existe la necesidad de restringir las tareas que se pueden desarrollar en él. Para limitar las funciones existe un panel frontal con la tarea exclusiva de determinar qué tipo de usuario que a de operar el sistema (figura 5.20). La manera de operación se define mediante una contraseña que permite trabajar al usuario mediante un nivel jerárquico.

Existen tres niveles en el sistema:

- Técnico
- Administrador
- Usuario

En este caso el nivel jerárquico más alto no es el Administrado, sino el Técnico, mientras que el nivel de usuario se encuentra al final.

Es necesario tener el nivel de Técnico en la parte más alta del nivel de jerarquía, para poder hacer los diagnósticos del sistema, ya que este nivel solo se utiliza cuando el sistema presenta problemas de configuración o si alguno de sus componentes se encuentra en mal estado o tiene que ser reemplazado. Este nivel además de hacer un diagnostico del sistema tiene amplia libertad de modificar valores en constantes. Es un método de limitar a personas ajenas al mantenimiento del equipo, ya que podrían causar daños irreparables al equipo.

El segundo nivel pertenece al Administrador, ya que tiene amplia libertad de modificar parámetros en las constantes, definir/calendarizar/ejecutar experimentos, alimentar la tabla de gases y modificar las contraseñas, todas menos la de nivel Técnico.

El último nivel pertenece al usuario, este nivel está limitado solo a definir, calendarizar y ejecutar experimentos.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

Si por el contrario se oprime la tecla “Cancel”, el sistema entrara en modo de usuario con las limitaciones ya mencionadas.



Figura 5.20 login.vi (Fuente: Propia)

### ***Panel principal.***

El panel principal es una representación grafica de todos los elementos que conforma el Sistema de Caracterización, permite controlar, monitorear y diagnosticar el sistema mediante controles e indicadores visuales. El control del sistema se lleva a cabo cuando un experimento se ejecuta o cuando se lleva a cabo mantenimiento en el equipo, mientras que el monitoreo se presenta en todo momento en la pantalla por medio de indicadores que se enciende o cambian de color. El diagnostico del sistema se hace mediante una pantalla especial que únicamente debe llevarse a cabo por un técnico especializado.

Las constantes y valores de los controles se efectúan por medio de pantalla emergentes. Estas pantallas aparecen mediante los menús que se localizan en la parte superior izquierda.

El Panel principal cuenta con seis menús que permiten llevar al operador a distintos paneles, mismos que permiten modificar los valores del sistema. Estos son: **Utilidades, Experimento, Operaciones Manuales, Accesorios, Estatus y Exit**, como se observa en la Figura 5.21

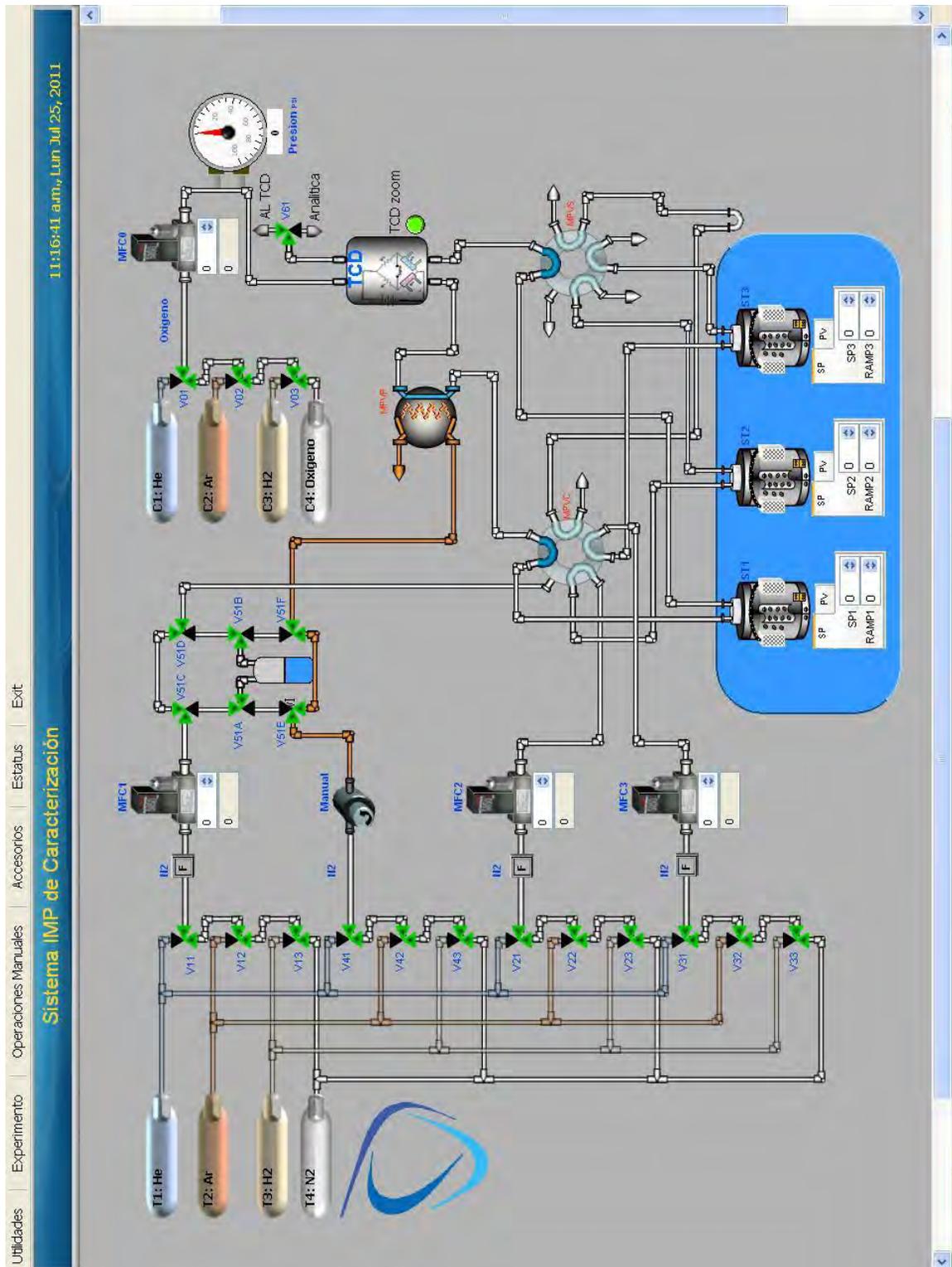


Figura 5.21 Panel del instrumento SIMPCAR.vi (Fuente: Propia)

### **Utilidades**

El menú de utilidades se encuentra dividido en los siguientes submenús:

- Gas
- MFC
- Puertos
- Hold PID
- Ramp PID
- Sistema
- Metales

### **Gas**

Como ya hemos mencionado en el capítulo 1, el gas puede ser empleado para Tratamiento al saturar la muestra, o bien para llevar a cabo la tarea de *carrier*. Este último gas se utiliza para llevar los elementos desprendidos de la muestra hacia un análisis o para obtener una muestra con mayor pureza.

La Tabla de Gases proporciona al usuario una manera fácil de capturar los valores de las constantes de cada gas de tal forma que se pueda obtener un flujo adecuado, ya que estos dependen de cada constante y de las condiciones ambientales del sitio.

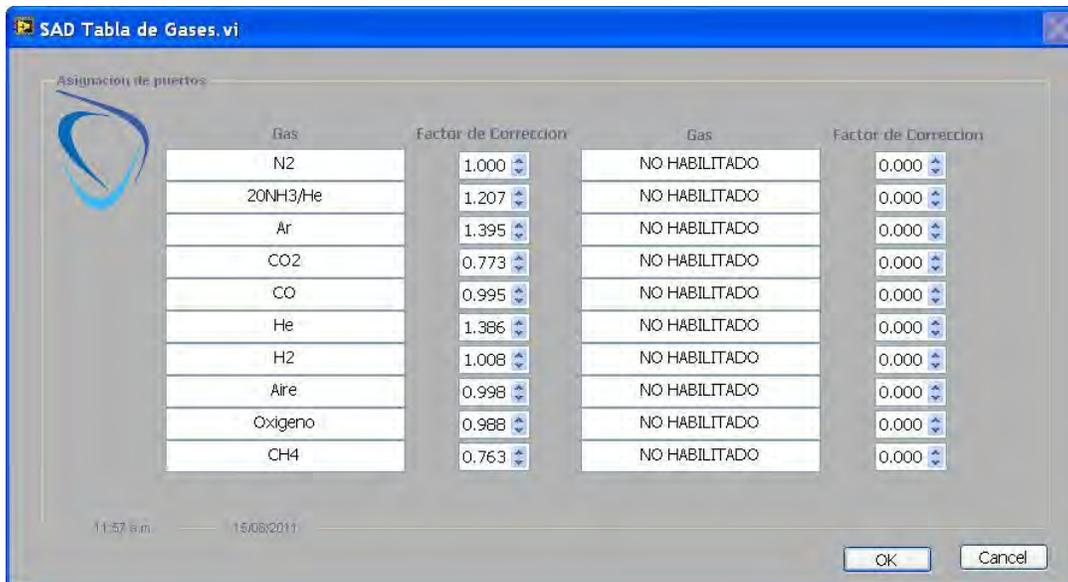


Figura 5.22 Tabla de Gases (Fuente: propia)

La Tabla tiene un espacio máximo de 20 lugares para editar nombre y constante de cada gas. Con la capacidad de guardar estos valores en un archivo.

Para utilizar el flujo de gas de forma adecuada, es necesario controlar el flujo de salida de los MFCs. Debido a que los MFCs están calibrados para un gas en específico, que en este caso en particular es el Nitrógeno, el fabricante distribuye tablas de conversión para poder aprovechar los controladores en una amplia gama de gases. Estas tablas permiten hacer la conversión de flujo por medio de una constante. Estas constantes, así como los valores ambientales de temperatura y presión atmosférica determinan un comportamiento adecuado del Controlador de Flujo. Para obtener el flujo es necesario hacer una calibración por medio de estas constantes que se encuentran contenidas en la Tabla 5.1.

CAPITULO 5 SOFTWARE

Tabla 5.1 Factor de conversión (Base Nitrógeno) MFC Brooks 5850E

GAS NAME	FORMULA	SENSOR FACTOR	ORIFICE FACTOR	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.615	0.970	1.173
Air	Mixture	0.998	1.018	1.293
Allene	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	0.478	1.199	1.787
Ammonia	NH <sub>3</sub>	0.786	0.781	0.771
Argon	Ar	1.395	1.195	1.784
Arsine	AsH <sub>3</sub>	0.754	1.661	3.478
Boron Trichloride	BCL <sub>3</sub>	0.443	2.044	5.227
Boron Trifluoride	BF <sub>3</sub>	0.579	1.569	3.025
Bromine Pentafluoride	BrF <sub>5</sub>	0.287	2.502	7.806
Bromine Trifluoride	BrF <sub>3</sub>	0.439	2.214	6.108
Bromotrifluoroethylene	C <sub>2</sub> BrF <sub>3</sub>	0.326	2.397	7.165
Bromotrifluoromethane f-13B1	CBrF <sub>3</sub>	0.412	2.303	6.615
1,3-Butadiene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	0.354	1.413	2.491
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.257	1.467	2.593
1-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.294	1.435	2.503
CIS-2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.320	1.435	2.503
Trans-2-Butene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.291	1.435	2.503
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	0.773	1.255	1.977
Carbon Disulfide	CS <sub>2</sub>	0.638	1.650	3.393
Carbon Monoxide	CO	0.995	1.000	1.250
Carbon Tetrachloride	CCL <sub>4</sub>	0.344	2.345	6.860
Carbon Tetrafluoride f-14	CF <sub>4</sub>	0.440	1.770	3.926
Carbonyl Fluoride	COF <sub>2</sub>	0.567	1.555	2.045
Carbonyl Sulfide	COS	0.680	1.463	2.180
Chlorine	CL <sub>2</sub>	0.876	1.598	3.214
Chlorine Dioxide	ClO <sub>2</sub>	0.693	1.554	3.011
Chlorine Trifluoride	CLF <sub>3</sub>	0.433	1.812	4.125
2-Chlorobutane	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> Cl	0.234	1.818	4.134
Chlorodifluoromethane f-22	CHCLF <sub>2</sub>	0.505	1.770	3.906
Chloroform (Trichloromethane)	CHCL <sub>3</sub>	0.442	2.066	5.340
Chloropentafluoroethane f-115	C <sub>2</sub> CLF <sub>5</sub>	0.243	2.397	7.165
Chlorotrifluoroethylene	C <sub>2</sub> CLF <sub>3</sub>	0.337	2.044	5.208
Chlorotrifluoromethane f-13	CCLF <sub>3</sub>	0.430	1.985	4.912
Cyanogen	(CN) <sub>2</sub>	0.498	1.366	2.322
Cyanogen Chloride	CLCN	0.618	1.480	2.730
Cyclobutane	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.387	1.413	2.491
Cyclopropane	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.505	1.224	1.877
Deuterium	D <sub>2</sub>	0.995	0.379	0.177
Diborane	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.448	1.000	1.235
Dibromodifluoromethane f-12B2	CBr <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.363	2.652	8.768
1,2-Dibromotetrafluoroethane f-114B2	C <sub>2</sub> Br <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	0.215	2.905	10.53
Dichlorodifluoroethane f-12	CCL <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.390	2.099	5.492
Dichlorofluoroethane f-21	CHCL <sub>2</sub> F	0.456	1.985	4.912
Dichlorosilane	SiH <sub>2</sub> CL <sub>2</sub>	0.442	1.897	4.506
1,2-Dichloroethane	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CL <sub>2</sub>	0.382	1.879	4.419
1,2-Dichlorotetrafluoroethane f-114	C <sub>2</sub> CL <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	0.231	2.449	7.479
2,2 Dichloro	C <sub>2</sub> HCCL <sub>2</sub> F <sub>3</sub>	0.259	2.336	6.829
1,1-Difluoro-1-Chloroethane	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> CLF <sub>2</sub>	0.341	1.957	4.776
1,1-Difluoroethane	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	0.415	1.536	2.940
1,1-Difluoroethylene	CH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	0.458	1.512	2.860
Diethylsilane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> Si	0.183	1.775	3.940
Difluoromethane f-32	CF <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.627	1.360	2.411
Dimethylamine	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH	0.370	1.269	2.013
Dimethylether	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> O	0.392	1.281	2.055
2,2-Dimethylpropane	C(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	0.247	1.613	3.244
Disilane	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.332	1.493	2.779
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.490	1.038	1.357
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	0.394	1.282	2.057
Ethylacetylene	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	0.365	1.384	2.388
Ethyl Chloride	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CL	0.408	1.516	2.879
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.619	1.000	1.261
Ethylene Oxide	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	0.589	1.254	1.965
Fluorine	F <sub>2</sub>	0.924	1.163	1.695
Fluoroform f-23	CHF <sub>3</sub>	0.529	1.584	3.127
Germane	GeH <sub>4</sub>	0.649	1.653	3.418
Germanium Tetrachloride	GeCl <sub>4</sub>	0.268	2.766	9.574
Halothane (R-123B1)	C <sub>2</sub> HBrClF <sub>3</sub>	0.257	2.654	8.814
Helium	He	1.386	0.378	0.178
Hexafluoroacetone	F <sub>3</sub> CCOCF <sub>3</sub>	0.219	2.434	7.414
Hexafluorobenzene	C <sub>6</sub> F <sub>6</sub>	0.632	2.577	8.309
Hexafluoroethane f-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0.255	2.219	6.139
Hexafluoropropylene (HFP)	C <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	0.249	2.312	6.663
Hexamethyldisilane (HMDS)	(CH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> Si <sub>2</sub>	0.139	2.404	7.208
Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.204	1.757	3.847

# CAPITULO 5 SOFTWARE

GAS NAME	FORMULA	SENSOR FACTOR	ORIFICE FACTOR	DENSITY (kg/m <sup>3</sup> )
Hydrogen	H <sub>2</sub>	1.008	0.269	0.090
Hydrogen Bromide	HBr	0.987	1.695	3.645
Hydrogen Chloride	HCL	0.983	1.141	1.639
Hydrogen Cyanide	HCN	0.744	0.973	1.179
Hydrogen Fluoride	HF	0.998	0.845	0.893
Hydrogen Iodide	HI	0.953	2.144	5.789
Hydrogen Selenide	H <sub>2</sub> Se	0.837	1.695	3.613
Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	0.850	1.108	1.539
Iodine Pentafluoride	IF <sub>5</sub>	0.283	2.819	9.907
Isobutane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.260	1.440	2.593
Isobutene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.289	1.435	2.503
Isopentane	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.211	1.605	3.222
Krypton	Kr	1.382	1.729	3.708
Methane	CH <sub>4</sub>	0.763	0.763	0.717
Methylacetylene	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	0.473	1.196	1.782
Methyl Bromide	CH <sub>3</sub> Br	0.646	1.834	4.236
3-Methyl-1-butene	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.252	1.584	3.127
Methyl Chloride	CH <sub>3</sub> CL	0.687	1.347	2.308
Methyl Fluoride	CH <sub>3</sub> F	0.761	1.102	1.518
Methyl Mercaptan	CH <sub>3</sub> S	0.588	1.313	2.146
Methyl Silane	CH <sub>3</sub> Si	0.393	1.283	2.061
Methyl Trichlorosilane (MTS)	CH <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> Si	0.267	2.310	6.675
Methyl Vinyl Ether	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.377	1.435	2.567
Monoethanolamine	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO	0.305	1.477	2.728
Monoethylamine	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	0.359	1.269	2.013
Monomethylamine	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	0.565	1.067	1.420
Neon	Ne	1.398	0.847	0.902
Nickel Carbonyl	Ni(CO) <sub>4</sub>	0.212	2.371	7.008
Nitric Oxide	NO	0.995	1.030	1.339
Nitrogen	N <sub>2</sub>	1.000	1.000	1.251
Nitrogen Dioxide	NO <sub>2</sub>	0.758	1.713	2.052
Nitrogen Trifluoride	NF <sub>3</sub>	0.501	1.598	3.168
Nitrogen Trioxide	N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.443	1.649	3.389
Nitrosyl Chloride	NOCL	0.644	1.529	2.913
Nitrous Oxide	N <sub>2</sub> O	0.752	1.259	1.964
Octafluorocyclobutane	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	0.169	2.672	8.933
Oxygen	O <sub>2</sub>	0.988	1.067	1.429
Oxygen Difluoride	OF <sub>2</sub>	0.672	1.388	2.402
Ozone	O <sub>3</sub>	0.738	1.310	2.138
Pentafluoroethane f-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	0.287	2.070	5.360
Pentane (n-Pentane)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.212	1.605	3.222
Perchloryl Fluoride	ClO <sub>2</sub> F	0.448	1.905	4.571
Perfluorobutane	C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	0.738	2.918	10.61
Perfluoro-2-Butene	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	0.268	2.672	8.933
Perfluoromethyl-vinylether	PMVE	0.296	2.029	5.131
Perfluoropropane	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0.179	2.591	8.396
Pentane (n-Pentane)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.212	1.605	3.222
Phosgene	COCL <sub>2</sub>	0.504	1.881	4.418
Phosphine	PH <sub>3</sub>	0.783	1.100	1.517
Phosphorous Pentafluoride	PF <sub>5</sub>	0.346	2.109	5.620
Phosphorous Trifluoride	PF <sub>3</sub>	0.495	1.770	3.906
Propane (same as CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> )	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.343	1.274	2.008
Propylene (Propene)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0.401	1.234	1.875
Rhenium Hexafluoride	ReF <sub>6</sub>	0.230	3.279	13.41
Silane	SiH <sub>4</sub>	0.625	1.070	1.440
Silicon Tetrachloride	SiCL <sub>4</sub>	0.310	2.465	7.579
Silicon Tetrafluoride	SIF <sub>4</sub>	0.395	1.931	4.648
Sulfur Dioxide	SO <sub>2</sub>	0.728	1.529	2.858
Sulfur Hexafluoride	SF <sub>6</sub>	0.270	2.348	6.516
Sulfur Tetrafluoride	SF <sub>4</sub>	0.353	1.957	4.776
Sulfur Trioxide	SO <sub>3</sub>	0.535	1.691	3.575
Sulfuryl Fluoride	SO <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0.423	1.931	4.648
Tetrachloromethane	CCl <sub>4</sub>	0.344	2.345	6.858
Tetrafluoroethylene (TFE)	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	0.361	1.905	4.526
Tetrafluorohydrazine	N <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	0.367	1.926	4.624
Trichlorofluoromethane f-11	CCl <sub>3</sub> F	0.374	2.244	6.281
Trichlorosilane	SiHCl <sub>3</sub>	0.329	2.201	6.038
Trimethyloxyborane (TMB)	B(OCH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0.300	1.929	4.638
1,1,2-Trichloro-1,1,2-Trifluoroet f-113	C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	0.231	2.520	7.920
Trimethylamine	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	0.316	1.467	2.639
Tungsten Hexafluoride	WF <sub>6</sub>	0.227	3.264	13.28
Uranium Hexafluoride	UF <sub>6</sub>	0.220	3.548	15.70
Vinyl Bromide	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Br	0.524	1.985	4.772
Vinyl Chloride	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> CL	0.542	1.492	2.788
Vinyl Fluoride	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F	0.576	1.281	2.046
Water Vapor	H <sub>2</sub> O	0.861	0.802	0.804
Xenon	Xe	1.383	2.180	5.851

## MFC

Como se menciono anteriormente existen MFCs calibrados para cierto tipo de gas, y cuando se sustituye o se instala un nuevo controlador es necesario tener en cuenta varios parámetro para obtener el flujo adecuado. Por ejemplo, el rango de flujo del controlador, el gas para el que fue calibrado, la temperatura de calibración, y la presión atmosférica local donde fue calibrado, son parámetros necesarios para cada uno de los controladores, ya que pueden ser distintos entre sí. Los controladores instalados están calibrados para Nitrógeno (N<sub>2</sub>), a una presión de 760 mmHg o torr, una temperatura de 0°C y un rango de 100 sccm.

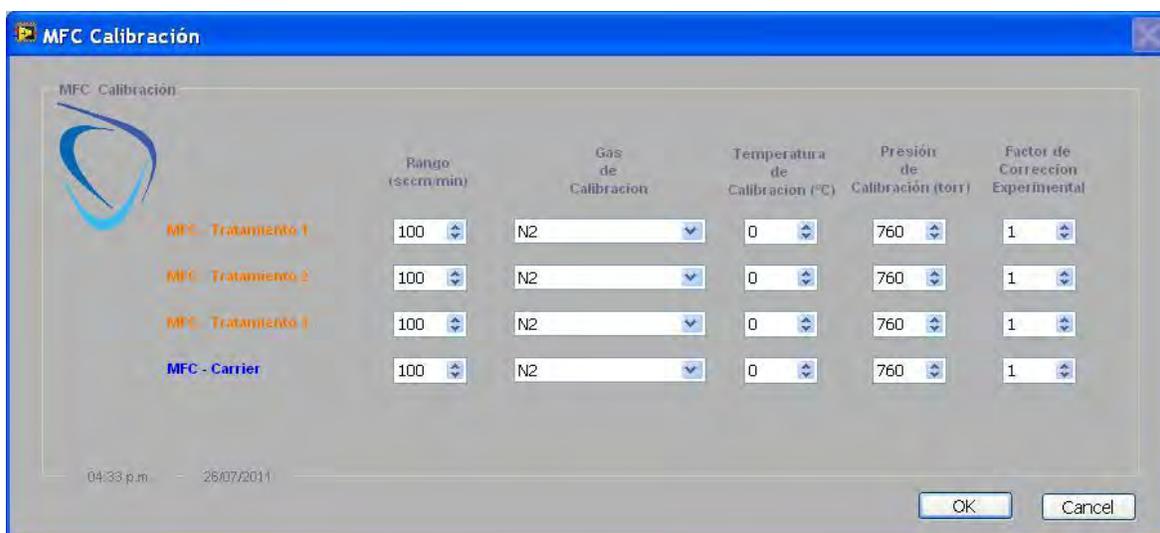


Figura 5.23 Pantalla de MFC Calibración (Fuente: Propia)

El propósito del panel frontal de la Figura 5.23 es de cargar los valores necesarios de cada controlador de flujo por si este llegara a ser reemplazado o calibrado de tal forma que dichos parámetros puedan ser utilizados en el cálculo que tiene que realizar la aplicación.

## Puertos

EL AMI-3 tiene terminales para conectar gases diversos; a estas terminales se les conoce como puertos. El panel de puerto es el medio que tiene el usuario para indicarle al sistema que gas está conectado a cada uno de los puertos. El panel de

## CAPITULO 5 SOFTWARE

puertos permite identificar en qué posición y lugar se encuentran. Existen un total de 8 puertos, cuatro destinados a los gases de tratamiento y cuatro para los gases de *carrier*. Como se ve en la Figura 5.24. Los Puertos pueden modificarse cuando sea necesario. Cada puerto tiene precargados los gases del panel “Tabla de Gases” que se describió anteriormente, permitiendo una fácil selección.

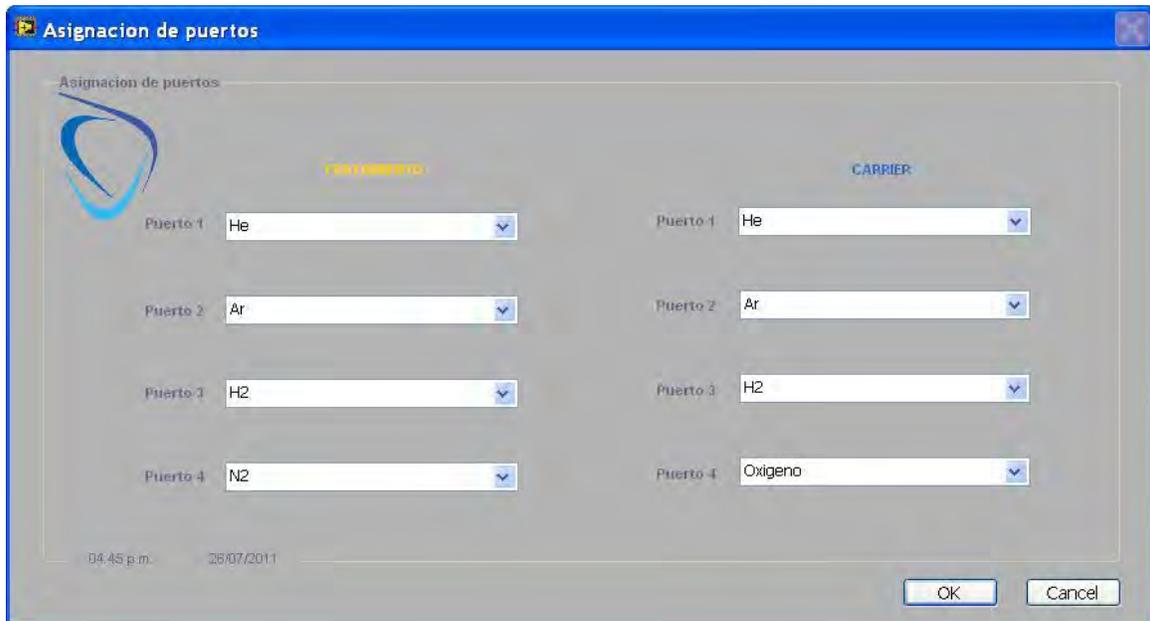


Figura 5.24 Asignación de Puertos (Fuente: Propia)

### **PID HOLD**

PID HOLD permite tener guardados el valor de las constantes PID para diferentes niveles de temperatura. Es un recurso que se conserva del sistema original, tal y como se observa en la Figura 5.25.

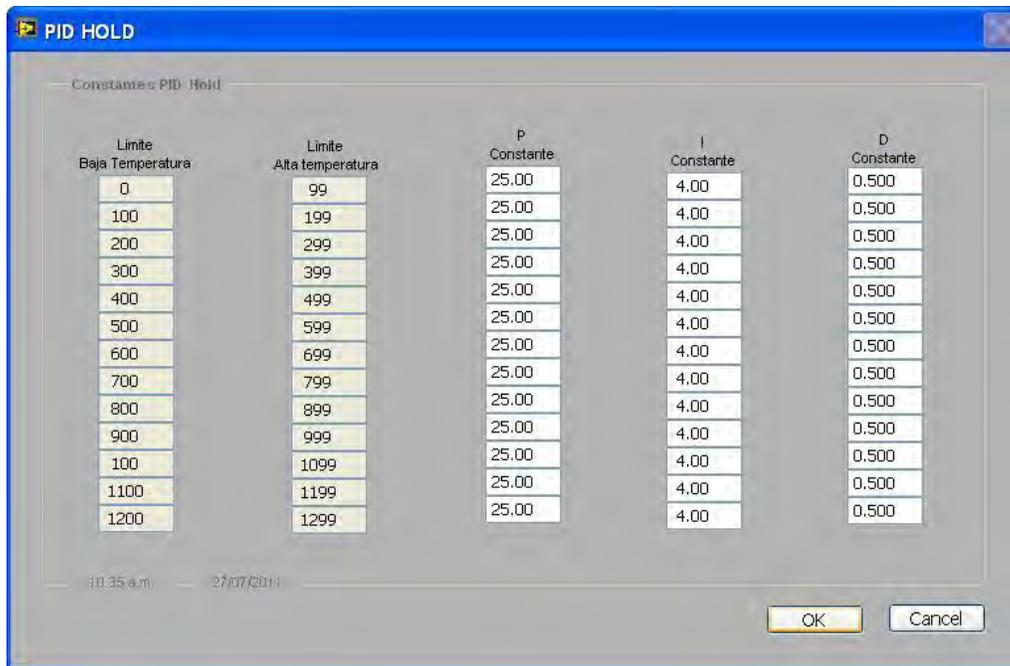


Figura 5.25 Panel frontal de la pantalla PID HOLD (Propia)

### ***PID RAMP***

El panel frontal de la Figura 5.26 pertenece al PID RAMP. Como el anterior panel frontal tiene la capacidad de almacenar valores de las constantes PID en modo rampa. La diferencia entre ambas depende del modo de control, ya que las rampas tienen un valor de incremento en temperatura/segundo, mientras que el único objetivo de los valores del PID HOLD es mantener al horno a la temperatura deseada sin importar los incrementos.

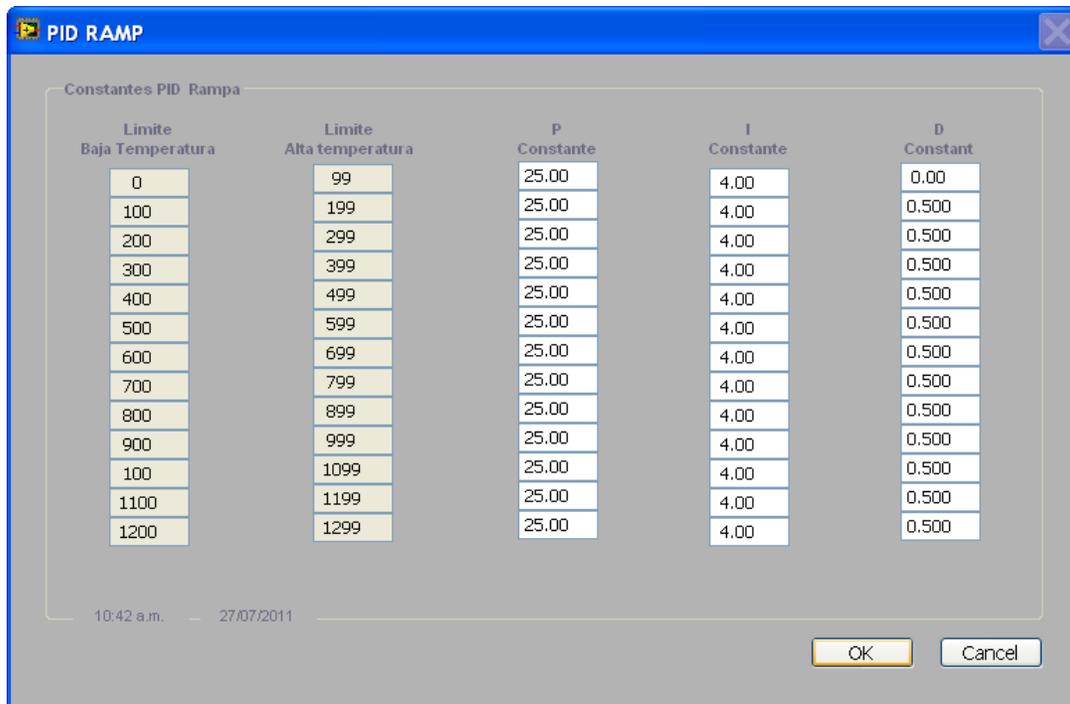


Figura 5.26 Panel PID RAMP (Fuente: Propia)

### Sistema

Uno de los objetivos de este panel, es permitir al usuario cambiar los valores del sistema cuando el equipo instalado en un lugar donde las condiciones atmosféricas cambien. Debido a que las condiciones ambientales dependen de las condiciones geográficas, es necesario actualizar el sistema cada vez que el sistema cambia de sitio.

Es importante para el sistema, que el usuario alimente las variables presentes en el panel de **Sistema**, ya que estos valores son utilizados para cálculos posteriores, como por ejemplo en la calibración de los MFCs y en el análisis. El panel se muestra a continuación en la figura 5.27.

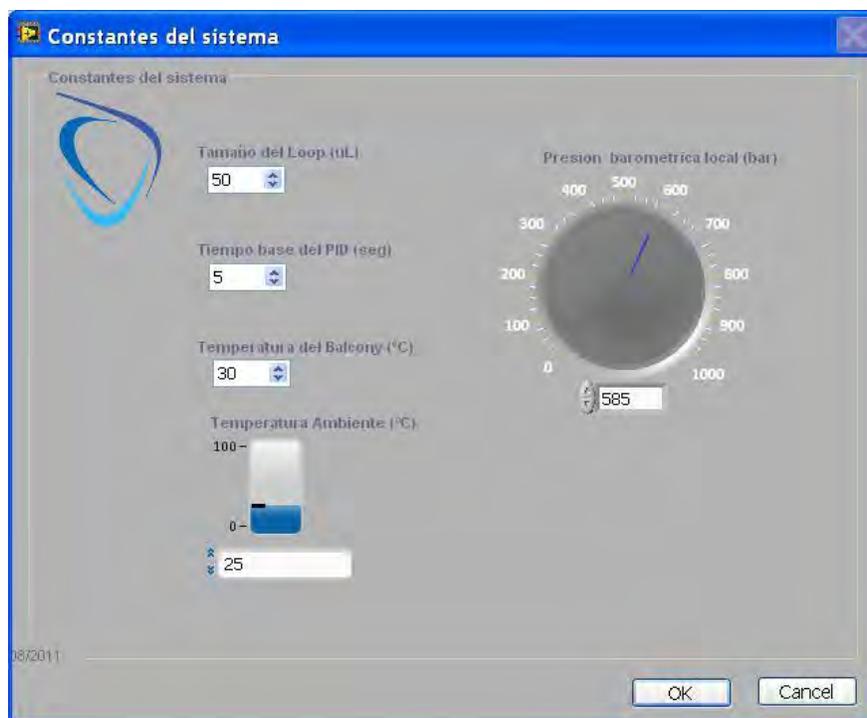


Figura 5.27 Panel frontal del Sistema (Fuente: Propia)

## Metales

La mayoría de los catalizadores empleados en aplicaciones prácticas consisten de partículas de algún metal dispersas sobre superficies de óxidos metálicos y zeolitas. Estos catalizadores se conocen como catalizadores de metales soportados. Las estructuras de estos materiales son generalmente complicadas, pues contienen partículas del metal de varios tamaños y formas dispersas de manera generalmente aleatoria sobre superficies que son inherentemente amorfas. Dicha complejidad estructural dificulta la comprensión del funcionamiento de estos catalizadores. Por esta razón, existe una gran motivación para preparar catalizadores sólidos como estructuras lo suficientemente simples y uniformes que permitan su estudio detallado para así comprender su funcionamiento de manera fundamental.

La tabla de metales es una referencia a la hora del análisis ya que de esta manera identifica fácilmente los metales presentes en el catalizador.

Símbolo Atómico	Peso Atómico	Densidad	Área Superficial	Símbolo Atómico	Peso Atómico	Densidad	Área Superficial
Sn	118.7	7.31	0	NO HABILITADO	0	0	0
Mo	95.94	10.2	0	NO HABILITADO	0	0	0
Ni	58.69	8.99	667	NO HABILITADO	0	0	0
Pt	95.08	21.45	235	NO HABILITADO	0	0	0
Pd	06.42	12	432	NO HABILITADO	0	0	0
Rh	02.91	12.5	495	NO HABILITADO	0	0	0
Ru	01.07	8.6	453	NO HABILITADO	0	0	0
Fe	55.85	7.86	700	NO HABILITADO	0	0	0
Co	58.93	8.89	654	NO HABILITADO	0	0	0
NO HABILITADO	0	0	0	NO HABILITADO	0	0	0

Figura 5.28 Tabla de Metales (Fuente: Propia)

## Experimento

Este menú permite al usuario la definición de experimentos así como su calendarización, ejecución y aborto. Estos paneles e instrucciones son:

- Abortar
- Definir
- Calendarizar
- Análisis

### Abortar

Abortar, es una orden al Sistema para interrumpir y terminar un experimento que está corriendo y regresarlo a sus condiciones iniciales. En este caso cualquier experimento que se esté llevando a cabo terminara su operación, regresando los controles a un modo de Standby. Por ello cuando se selecciona abortar, aparece una leyenda en pantalla (figura 5.29) para asegurarse de manera definitiva que se está abortando cualquier operación.

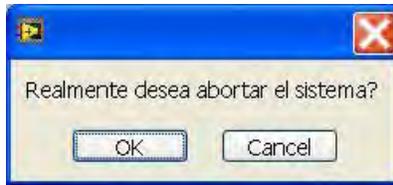


Figura 5.29 Aborto del Sistema (Fuente: Propia)

**Definir**

Este panel frontal permite al usuario ordenar y configurar una serie de procedimientos que constituirán el experimento definitivo (figura 5.30). El panel tiene la capacidad de guardar, modificar y abrir experimentos. Estos experimentos permiten someter a la muestra (catalizador) a temperaturas y flujos de gas programados para así obtener una muestra más pura o bien analizar los compuestos desprendidos. Estos compuesto se analizan mediante el TCD durante el experimento y se generan archivos de datos. Cuando termina el experimento estos archivos de datos son analizado y graficados.

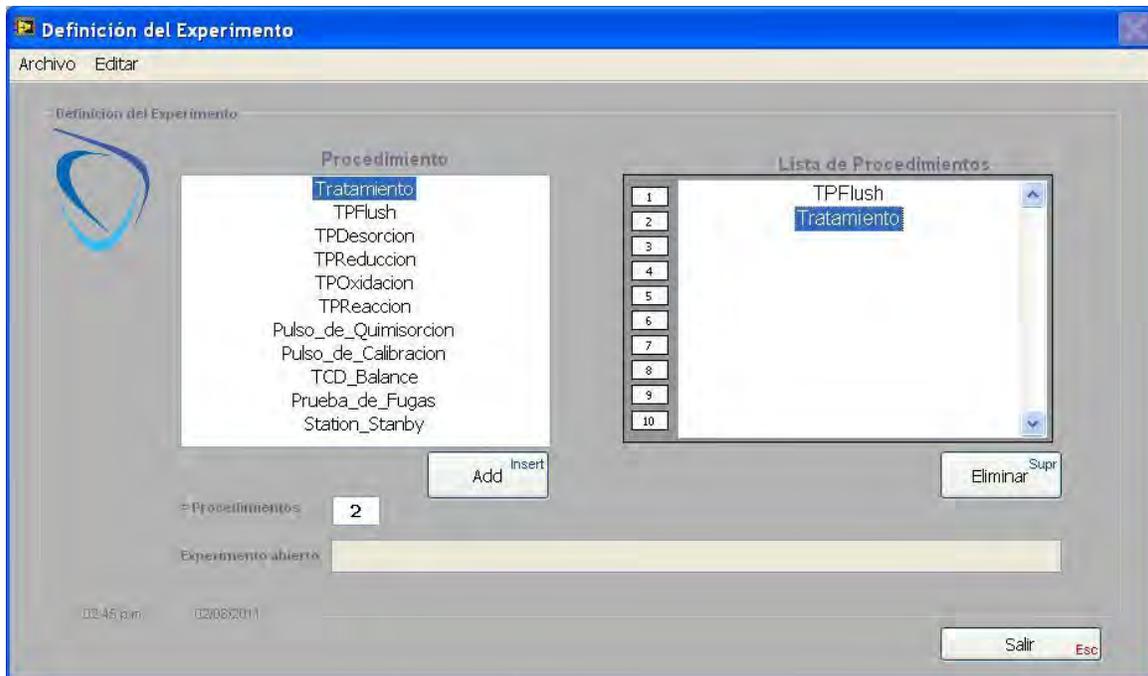


Figura 5.30 Definición del experimento (Fuente: Propia)

## CAPITULO 5 SOFTWARE

Para definir un experimento existen dos formas: una de ellas es mediante una lista de procedimientos que se encuentran en el lado izquierdo del panel y que pueden ser seleccionados y agregados a la lista de todos los procedimientos que componen al experimento del lado derecho.

La otra es mediante los menús que se encuentran en la parte superior del panel, los cuales permiten seleccionar el tipo de procedimiento a realizar.

Cuando se tiene bien definido el experimento, se debe guardar, ya que será necesario al momento de calendarizar el experimento. Para guardar el experimento dentro de las pestañas se presiona en la pestaña guardar o bien mediante el comando Alt + G. Una observación necesaria es que todos estos archivos tiene una extensión “\*.exp” para diferenciarlos de los demás.

Dentro de los tipos de Procedimientos que se pueden desarrollar se pueden describir algunos.

### ***Tratamiento***

El procedimiento de tratamiento es un procedimiento preparatorio, no es un procedimiento analítico, por tanto el TCD no se utiliza. El procedimiento de tratamiento desarrolla una serie de rampas de temperatura y valles de retención mientras algún gas fluye sobre la muestra. Este procedimiento se usa comúnmente para purgar, calcinar o reducir la muestra antes del análisis.

Normalmente la temperatura inicial es siempre la temperatura ambiente, aunque puede diferir. El gas es un medio utilizado para reaccionar con la muestra, o bien para llevar los elementos desprendidos por la muestra hacia algún venteo. Como se observa en la figura 5.31 existe dos rutinas para llevar a cabo una rampa de temperatura, esta rampa puede variar entre 10 y 40 grados centígrados por minuto. Además existen tiempos de retención en los cuales se puede mantener a la muestra a una temperatura fija.

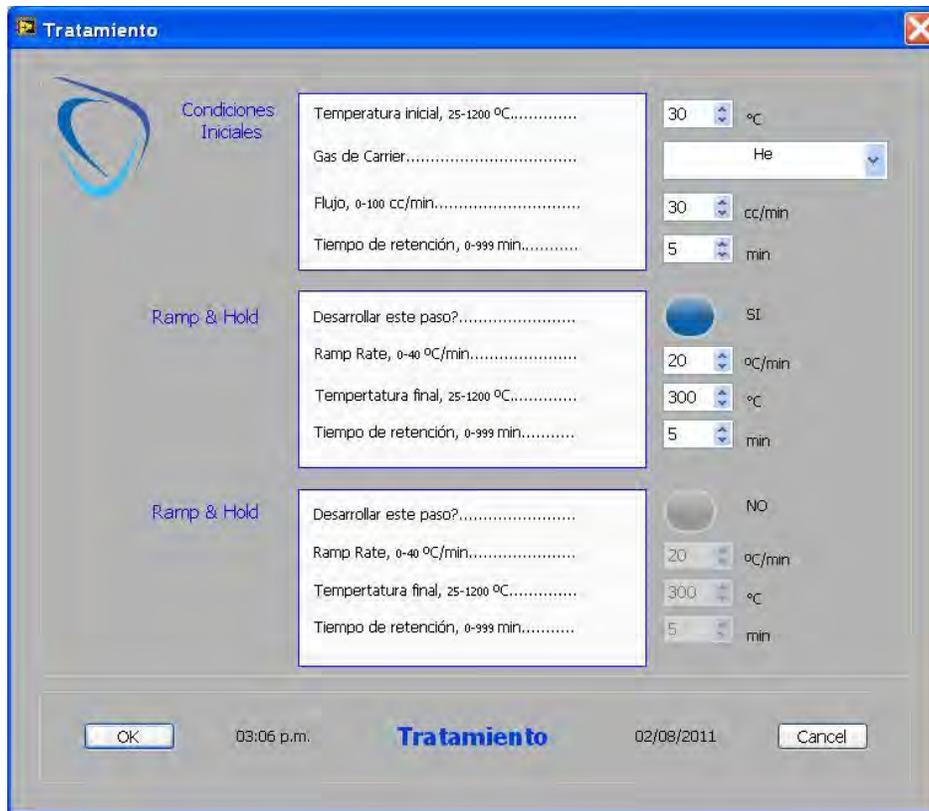


Figura 5.31 Panel frontal de Tratamiento (Fuente: Propia)

### ***TP-Flus***

El TP-Flush (figura 5.32) es un procedimiento analítico el cual consiste en un estadio o valle de temperatura inicial, seguido de una rampa lineal de temperatura, un estadio y valle de temperatura final, todo bajo un flujo de gas inerte de *carrier*. Todos los datos del TCD durante este procedimiento son recolectados.

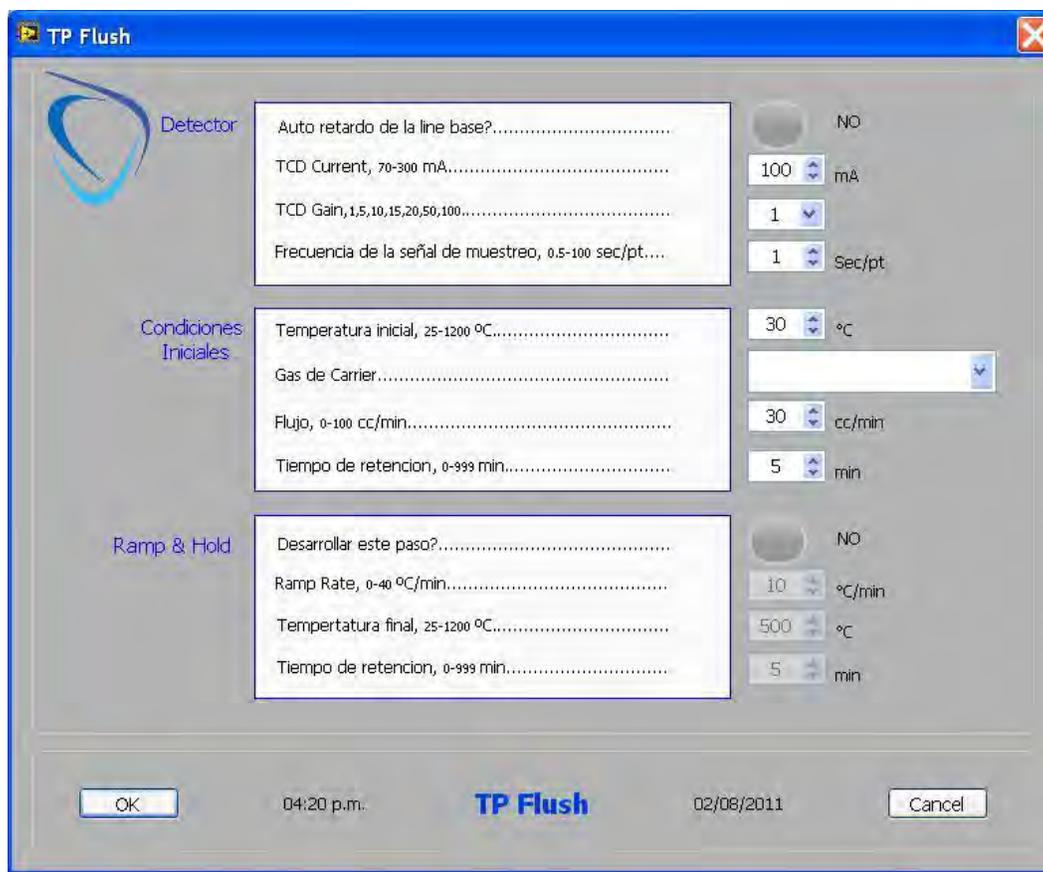


Figura 5.32 TP Flush (Fuente: Propia)

### **TP-Desorción**

El procedimiento de TP-Desorción (figura 5.33) es un procedimiento de análisis de tres pasos. Los tres pasos del TP-Desorción son:

- **Adsorción:** durante este paso el metal en la superficie de la muestra es saturado con un adsorbante (quimisorbido). Esto es logrado mediante un flujo de gas de tratamiento sobre la muestra a una apropiada temperatura durante un suficiente periodo de tiempo suficiente. *No se colectan datos durante el periodo de adsorción.*
- **Flush:** durante este paso el gas inerte de *carrier* fluye sobre la muestra para remover cualquier molecula de adsorbante o moléculas del gas de adsorción débilmente absorbidos. *No se colectan datos durante el periodo de Flush.*

- Desorción: durante este paso, el gas de *carrier* fluye sobre la muestra mientras se desarrolla una rampa de temperatura lineal para remover las moléculas de gas quimisorbidos en los sitios metálicos. *Los datos del TCD son colectados durante este paso.*



Figura 5.33 TP Desorción (Fuente: Propia)

### ***TP-Reducción***

El procedimiento de TP-Reducción (figura 5.34) es un proceso analítico mediante el cual fluye una mezcla de gas Hidrogeno más un gas inerte como *carrier* sobre la muestra mientras se desarrolla una rampa lineal de temperatura. La muestra se reduce debido al consumo de hidrogeno durante el procedimiento. *Los datos de TCD son colectados durante el procedimiento.*

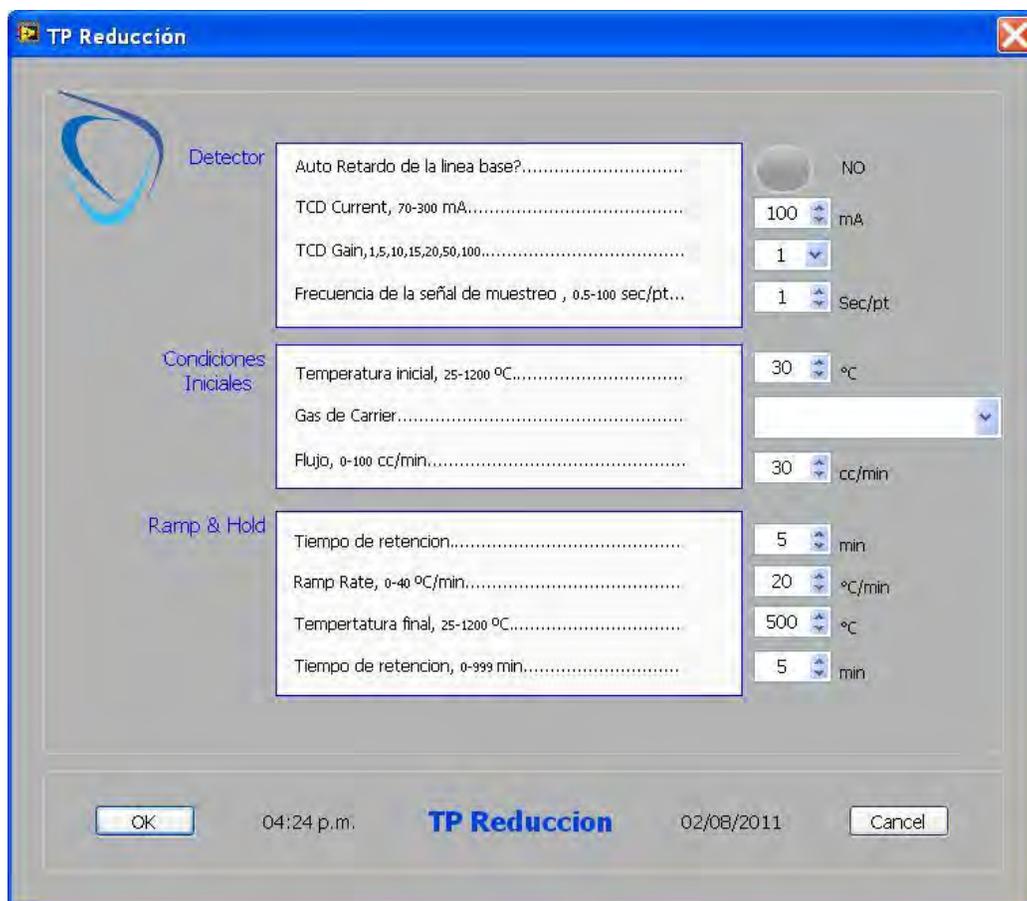


Figura 5.34 TP Reducción (Fuente: Propia)

### ***TP Oxidación***

El procedimiento de TP Oxidación (figura 5.35) es un procedimiento analítico, en el cual fluye una mezcla de gas oxígeno/gas inerte *carrier* sobre la muestra mientras la temperatura se incrementa en forma de rampa lineal. La muestra se oxida por el consumo de oxígeno de la mezcla.

Durante el procedimiento se colectan datos por medio del TCD o Katarometro los cuales podrán graficarse y cuantificarse, para obtener información del catalizador.

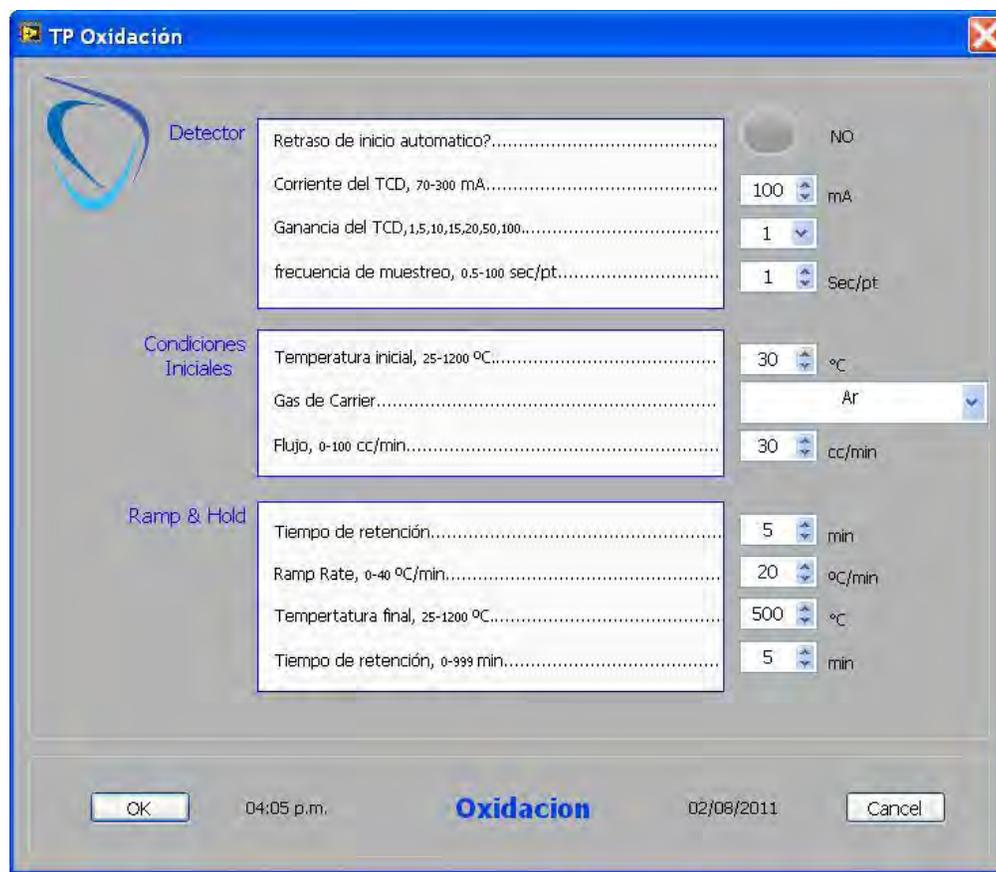


Figura 5.35 Panel frontal de TP Oxidación (Fuente: Propia)

Como se puede observar en la figura 5.35 existen tres etapas en este procedimiento, Detector, Condiciones iniciales, Ramp & Hold. La parte de Detector define el uso del detector: retraso del inicio automático, sensibilidad, Ganancia, Frecuencia de muestreo. Las Condiciones iniciales son aquellas en las cuales se define que valor de la temperatura debe tener la muestra al iniciar el procedimiento y el valor del flujo antes de comenzar la rampa y el posterior análisis.

### ***TP-Reacción***

El procedimiento de TP-Reacción (figura 5.36) es un procedimiento analítico mediante el cual fluye una mezcla de gas de *carrier* sobre la muestra mientras se desarrolla una rampa lineal de temperatura. La muestra o un absorbante puesto sobre la muestra reacciona con la mezcla. *Se colectan los datos del TCD.*

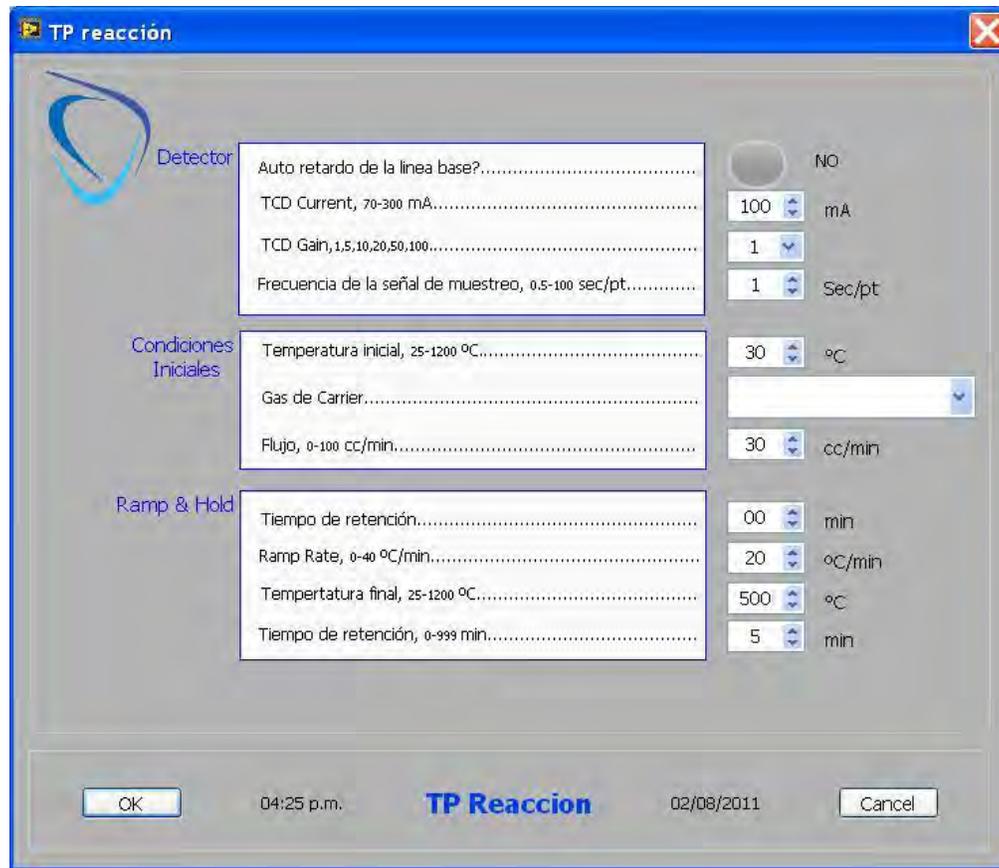


Figura 5.36 TP Reacción (Fuente: Propia)

### ***Pulso de quimisorción***

El Pulso de quimisorción (figura 5.37) es un procedimiento de análisis consistente en una serie de pulsos de un gas de adsorción que pasan a través de la muestra a intervalos regulares. La cantidad de gas que no es adsorbido es detectado por el TCD y la cantidad adsorbida se calcula por diferencia.

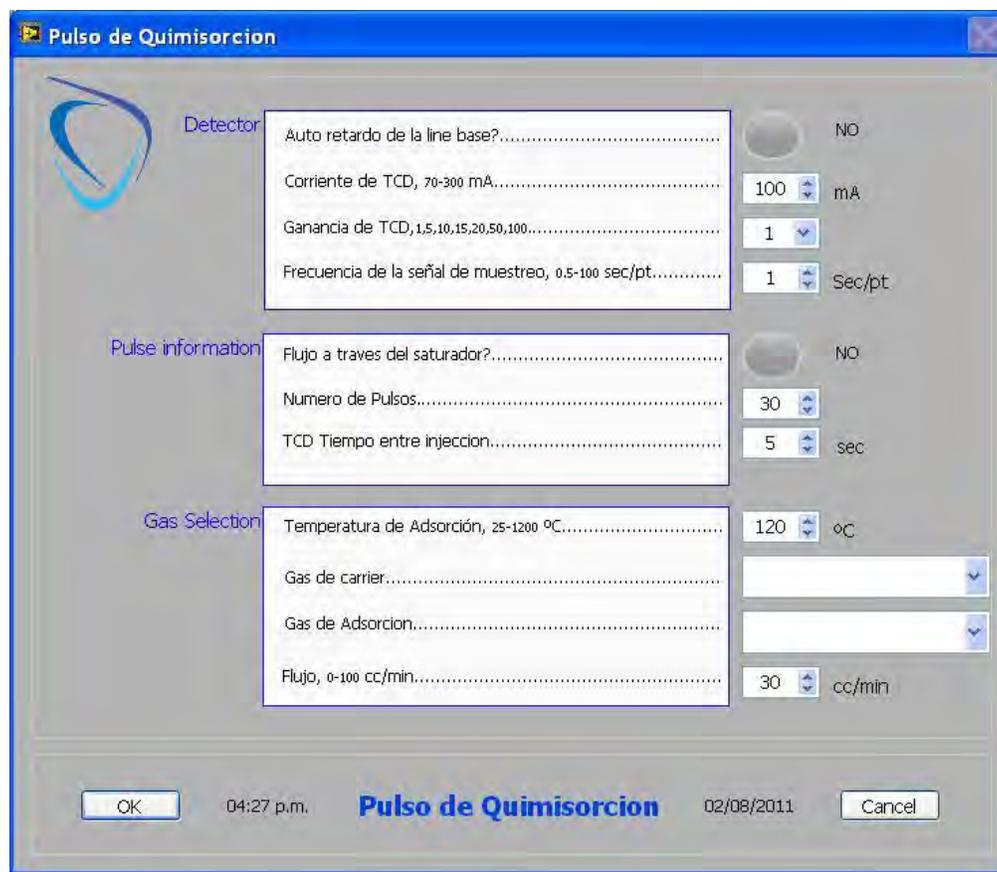


Figura 5.37 Pulso de quimisorción (Fuente: Propia)

### ***Pulso de Calibración***

Es pulso de calibración (figura 5.38) es usado para comparar una señal de TCD (área) contra un volumen de gas conocido, cuantitativamente.

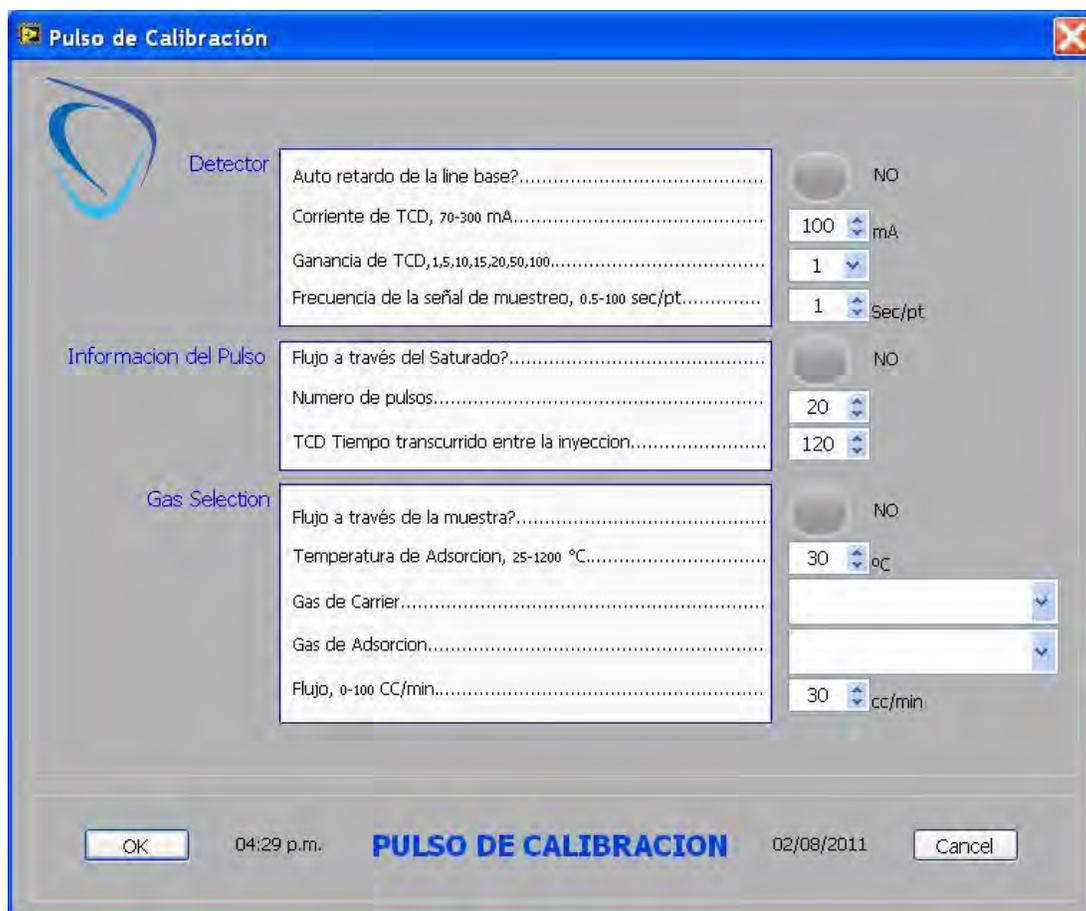


Figura 5.38 Pulso de calibración (Fuente: Propia)

### ***Test de fugas***

El Test de fugas (figura 5.39) es usado para examinar la presión del AMI-3. Determina si existe alguna fuga presente en los sistemas de *carrier*.

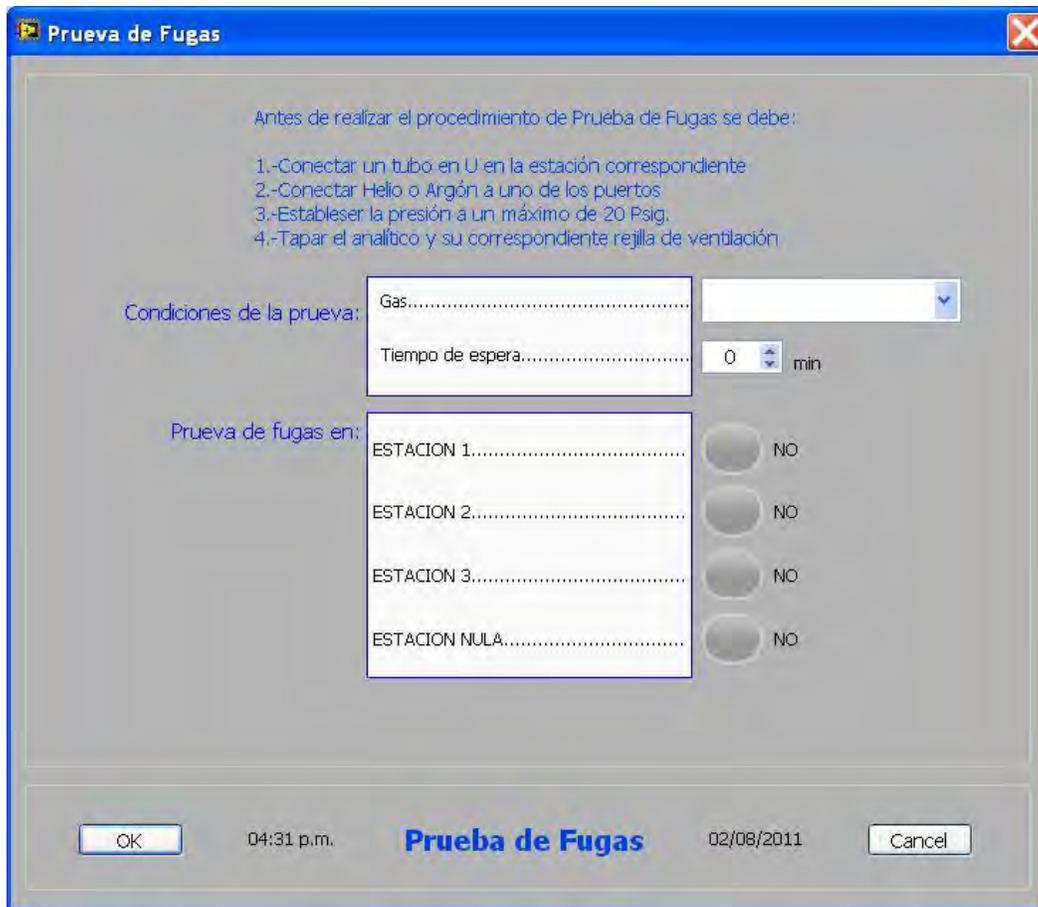


Figura 5.39 Prueba de fugas (Fuente: Propia)

### **Calendarizar**

La calendarización de los experimentos permite al usuario tener un control de la ejecución de los experimentos, ya que permite al operador determinar la hora y fecha en cual empezara un experimento.

Para llevar a cabo la calendarización de un experimento es necesario escogerlo de entre los que fueron creados con anterioridad y darle un nombre al archivo de datos que se generará en el transcurso del experimento.

La calendarización se puede hacer en las tres estaciones. En cada estación se encuentra un horno y cada uno cuenta con tuberías necesarias para hacerle pasar

## CAPITULO 5 SOFTWARE

flujo de gas. Cada estación brinda la posibilidad de llevar a cabo un experimento, ya sea tratamiento o análisis.

Debido a que el sistema solo cuenta con un detector TCD; cuando en dos estaciones se lleva a cabo análisis, el sistema decide mediante tiempos cual experimento debe pasar primero por el análisis. Mientras una estación es analizada, en la otra se mantienen las condiciones de temperatura y flujo hasta que pase por el detector.

El panel frontal de la Figura 5.40 muestra los datos necesarios y los botones que permiten una rápida comprensión de la forma de calendarizar.



Figura 5.40 Panel frontal de Calendarización (Fuente: Propia)

### 5.9 Caracterización del catalizador

Para realizar el proceso de caracterización es necesario realizar una serie de pasos antes de proceder con la caracterización. Primeramente se debe definir el experimento, auxiliándose de la pantalla de definición.

En la pantalla de definición se da forma al experimento y se guarda en forma de archivo, con la extensión \*.exp y se genera una carpeta EXP automáticamente en el directorio raíz, como se ve en la Figura 5.41.

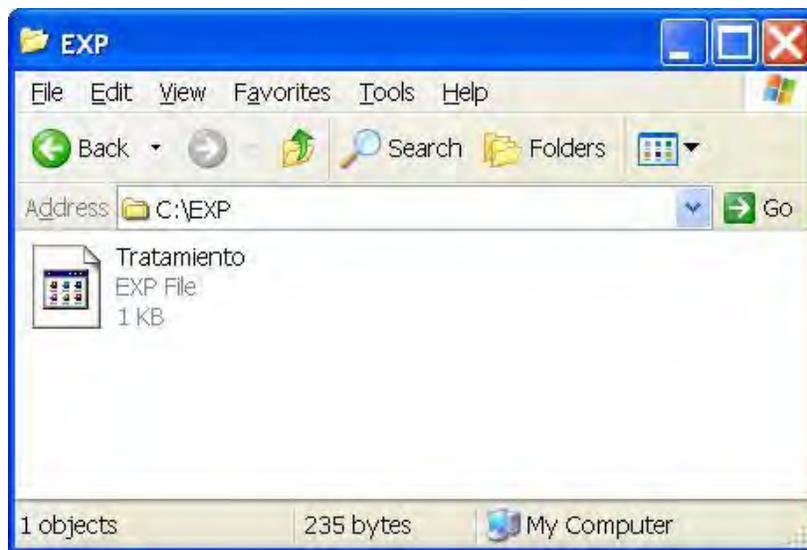


Figura 5.41 Archivo de definición (Fuente: Propia)

Después de haber definido el experimento es necesario calendarizarlo o ejecutarlo de manera directa mediante la pantalla de calendarización. Para esto es necesario elegir el archivo a calendarizar por medio del *path* “Experimento a Calendarizar” y darle un nombre al archivo que guardara la configuración de la calendarización con extensión \*.dfn, preferentemente en la carpeta c:\EXP por medio del *path* “Archivo de Datos”, como muestra en la figura 5.42.

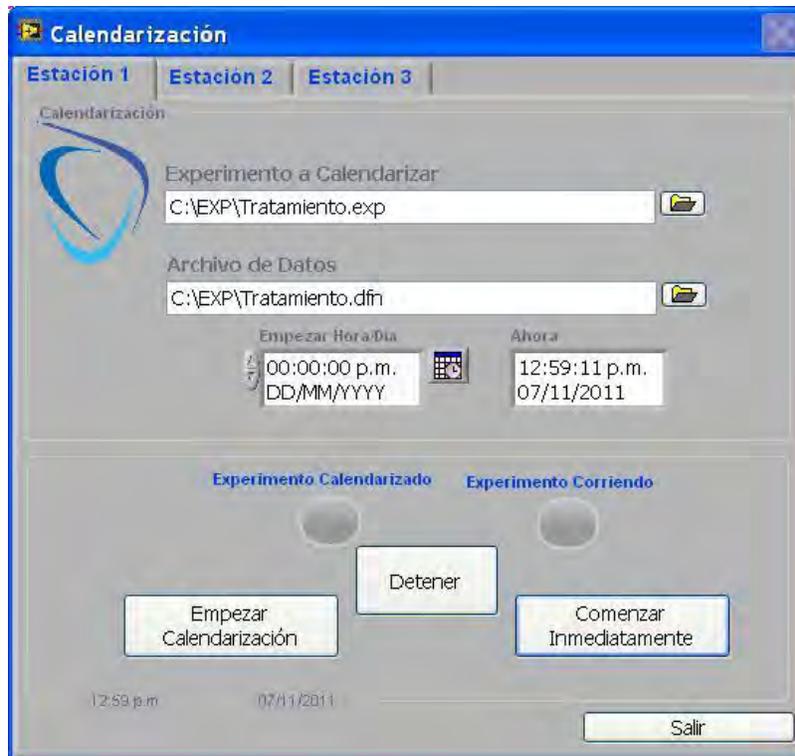


Figura 5.42 Calendarización del experimento (Fuente: Propia)

Cuando se ha dado nombre al archivo de definición, existen dos opciones que nos permiten realizar el experimento, una de ellas es mediante el botón “Empezar la caracterización”, para el cual es necesario determinar la fecha y hora de la ejecución mediante el calendario que aparece en la parte superior. La otra forma es presionando el botón “comenzar Inmediatamente”.

Para ambos casos es necesario realizar un formulario que guardara las características del catalizador, como nombre, identificación y peso (figura 5.43).

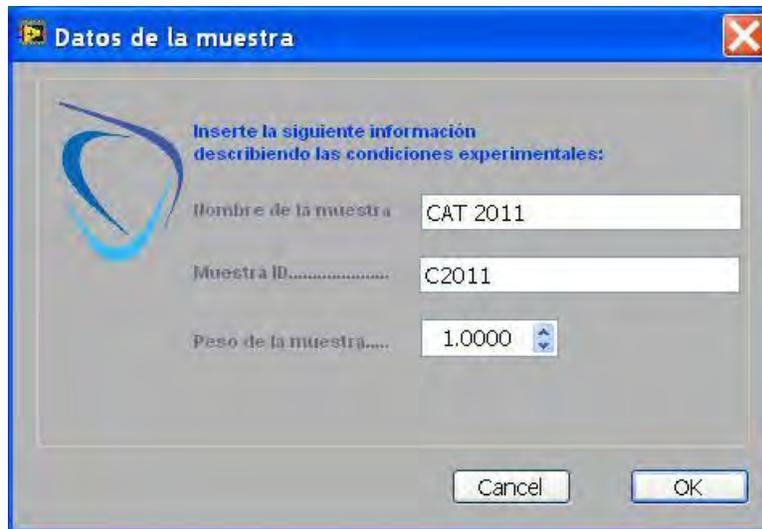


Figura 5.43 Datos de la muestra (Fuente: Propia)

Automáticamente realizado el paso anterior, se genera un archivo \*.dfn con el nombre que se definió en “Archivo de Datos”, tal y como se observa en la Figura 5.44

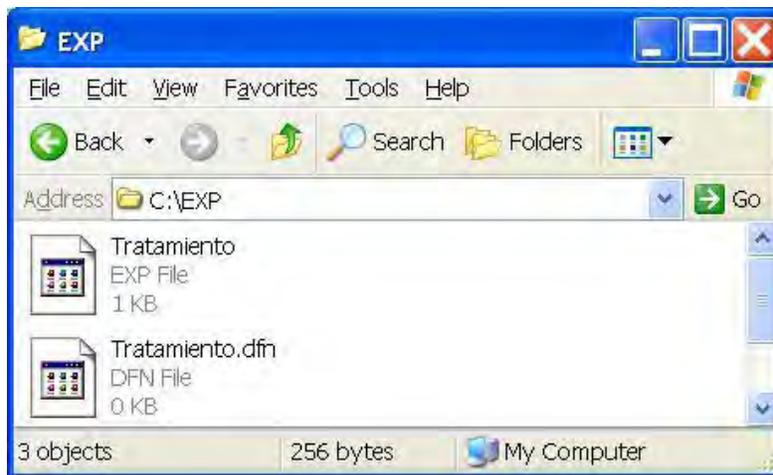


Figura 5.44 Archivo de datos de calendarización (Fuente: Propia)

Cuando se ha calendarizado el experimento, el indicador en la pantalla de calendarización cambia a modo de encendido para que el operador observe visualmente. Ver Figura 5.45.



Figura 5.45 Indicador de pantalla de calendarización encendido (Fuente: Propia)

Después la HMI realizara todas las operaciones necesarias para ejecutar el experimento. Siendo una de ellas la de mover los actuadores a la posición de la estación, en la cual se realizara el experimento y paralelamente realizando los ajuste en las válvulas solenoides para que el gas fluya hacia la muestra.

Durante este proceso el panel principal, por medio de indicadores gráficos, mostrara al operador que se está llevando a cabo algún experimento.

- ***Experimento en proceso***
- ***Experimento en Proceso***

Cuando se carga el programa, en el indicador aparece la palabra *Experimento en espera*, mientras que cuando se corre algún experimento, aparece la leyenda *Experimento en proceso* (figura 4.46).

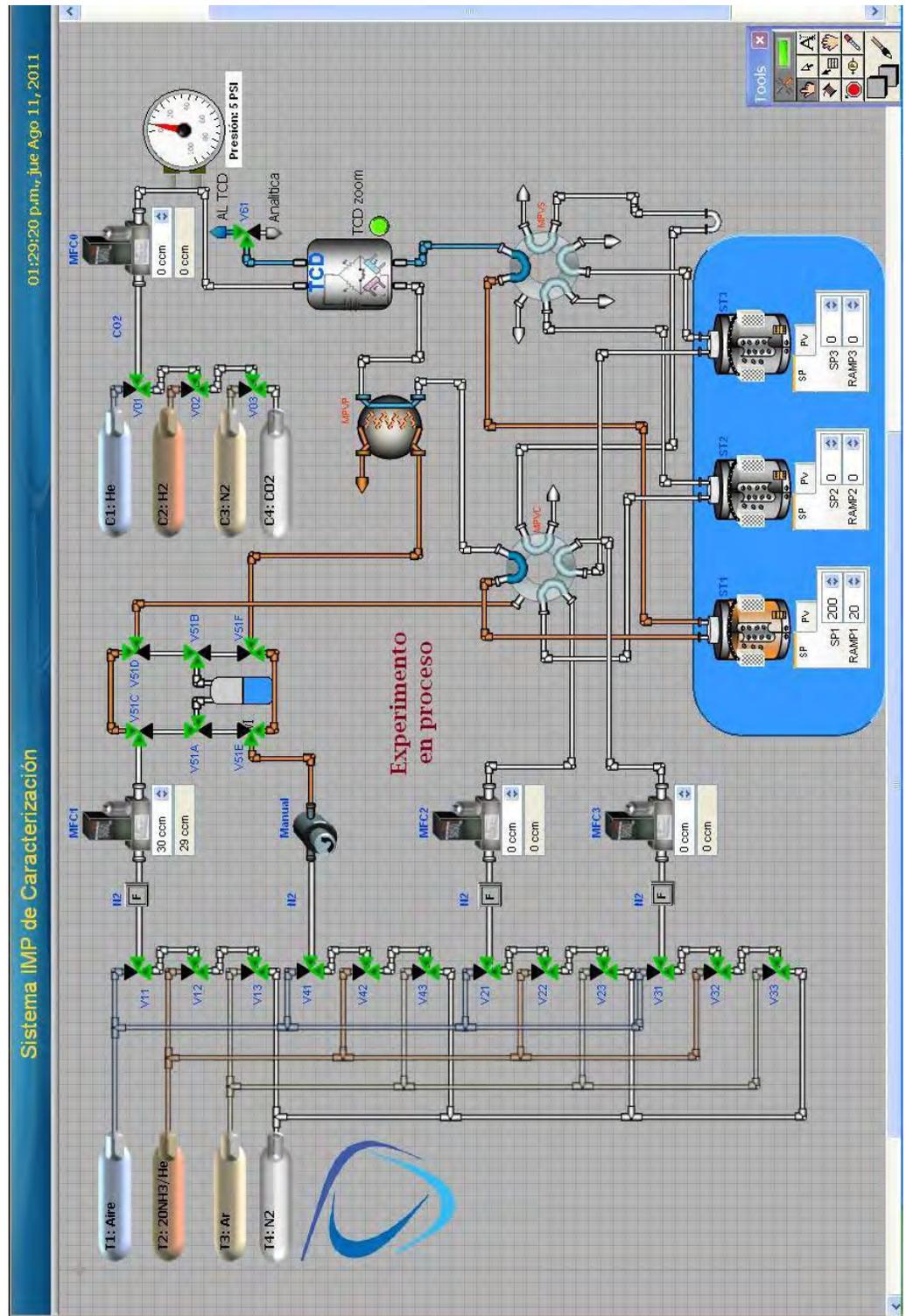


Figura 5.46 Experimento en proceso (Fuente: Propia)

## CAPITULO 5 SOFTWARE

Los valores de las temperaturas se muestran en el panel, mediante los indicadores tanto de setpoints como de variables de proceso que se encuentran debajo de los indicadores gráficos de los hornos. En estos mismos indicadores también se muestran los valores de las temperaturas de las muestras.

Cuando los hornos se encuentran calentando, aparece un color naranja en ellos, que permite identificar su actividad.

Durante el experimento, se recopilan datos como temperatura, flujo y señal del TCD, que son guardados por medio de un archivo, cuya extensión depende del orden en que se realizó el procedimiento, es decir, el número que el procedimiento tiene dentro del experimento (Figura 4.47).

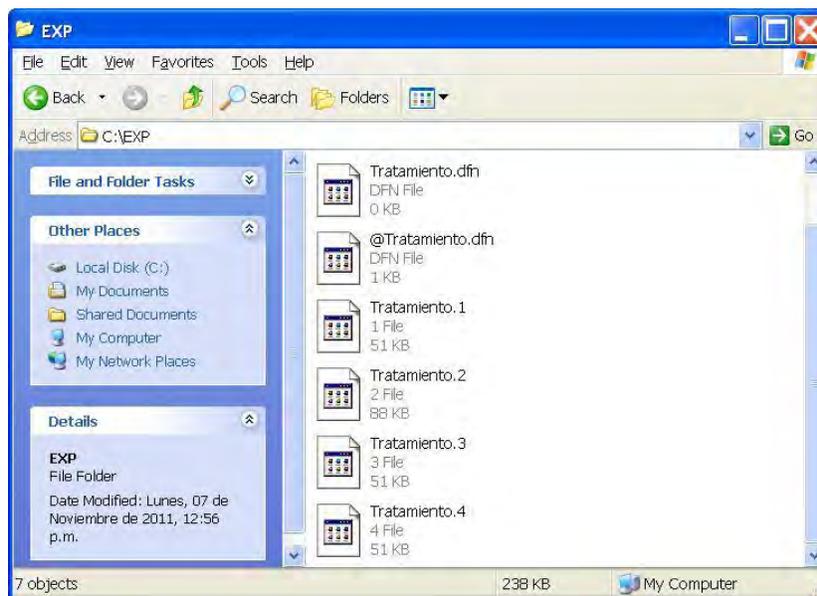


Figura 5. 47 Archivos de datos del experimento (Fuente: Propia)

Cuando el experimento finaliza, en panel principal aparece la leyenda “Experimento en espera” y el sistema regresa a sus condiciones iniciales. Para ello los hornos se enfrían mediante flujos de aire a intervalos regulares de 15 segundos. Este enfriamiento se ve reflejado en indicadores en los hornos que se enciende en un color azul (Figura 4.48).

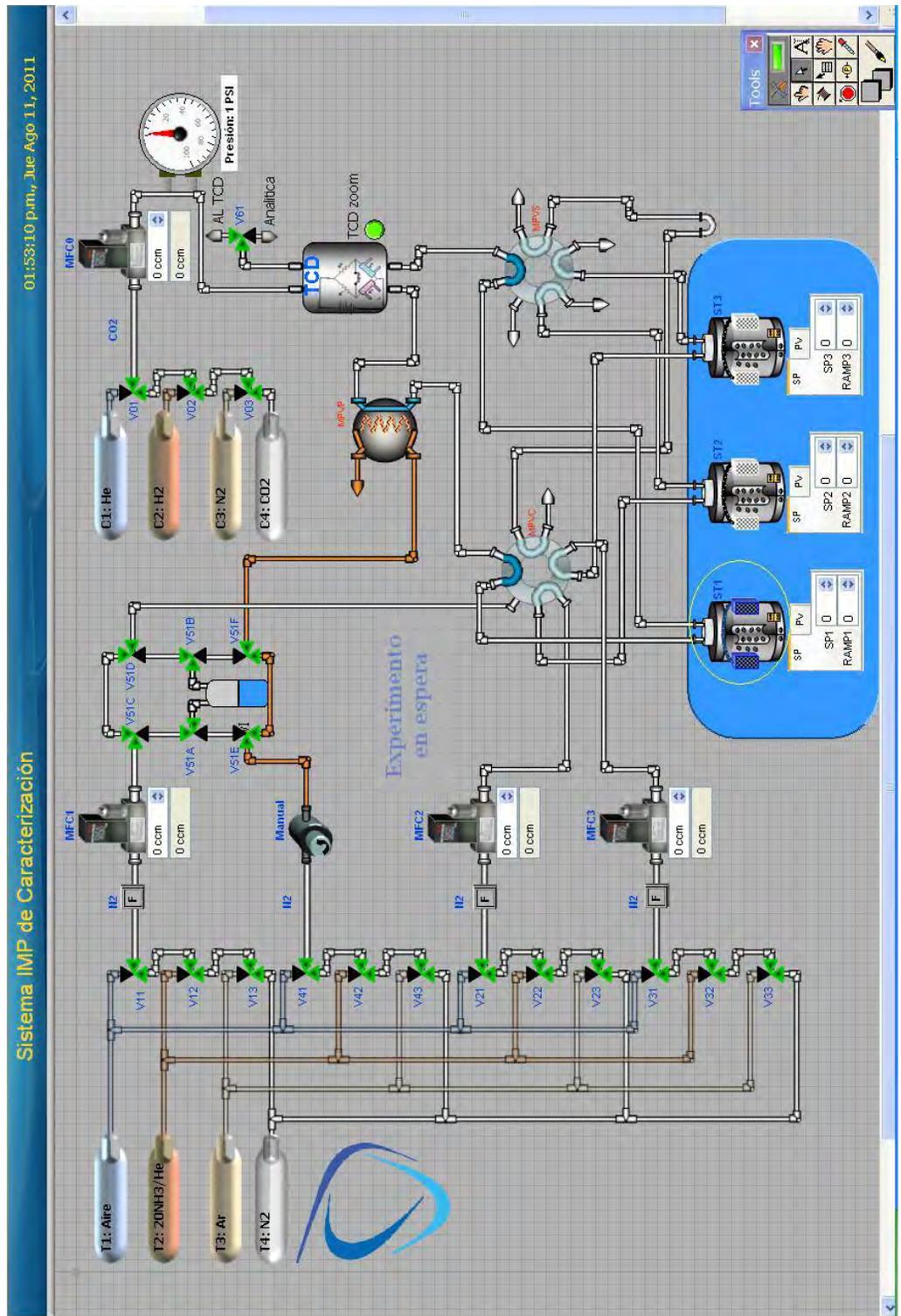


Figura 5.48 Condiciones iniciales en el sistema y enfriamiento del horno (Fuente: Propia)

## CAPITULO 5 SOFTWARE

Para el análisis de los datos del experimento, existen dos formas de hacerlo, una es apoyándose la pantalla de análisis del SIMPCAR, y la otra es utilizar un software especializado para el tratamiento de datos, para esto no existe ninguna complicación, ya que los datos se guardan en formato de texto, que puede fácilmente abrirse desde la aplicación de Microsoft Office Excel.

En este caso la representación de los datos se hace mediante la pantalla de análisis que permite la representación de los datos como temperatura vs tiempo, señal de TCD vs tiempo (figura 4.49).

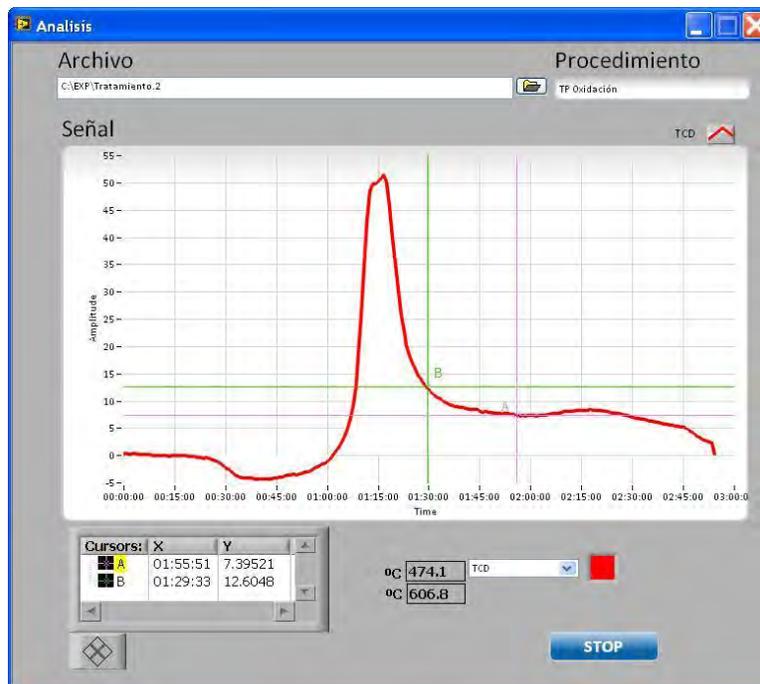


Figura 5.49 Análisis de los datos (Fuente: Propia)

### 5.10 Diagnostico del sistema

Como método para el diagnóstico de los componentes del sistema, y al igual que la HMI original, se desarrolló una pantalla de diagnóstico general. En ella se encuentran indicadores que nos permiten conocer el estado de los dispositivos, como son temperatura posición, flujo, cierre y apertura.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

También en esta pantalla existen controles que permiten interactuar con varios de los componentes del AMI-3 para poder diagnosticar su estado. Todo esto es útil al momento de realizar operaciones de mantenimiento.

Esta pantalla permite conocer tanto la posición como los valores de las salidas analógico/digitales, permitiéndonos conocer a fondo si el o los dispositivos responden adecuadamente a las señales de salida en volts.

Así mismo las entradas analógico/digitales se pueden observar como valores de posición, temperatura y flujo, pero también como entradas analógicas en voltaje.

Por ejemplo el diagnostico de los MFC's es importante a la hora de la calibración, ya que nos permite detectar si el controlador se encuentra correctamente calibrado y si su funcionamiento es adecuado comparando sus voltajes de salida y entrada y realizando la comprobación mediante un medidor de flujo. Además nos muestra el estado de la presión en el sistema y la posición de los actuadores multiposición.

Tanto con los MFC's como con los actuadores se puede interactuar por medio de los menús que aparecen en la parte superior, tal y como se muestra en la figura 5.50.

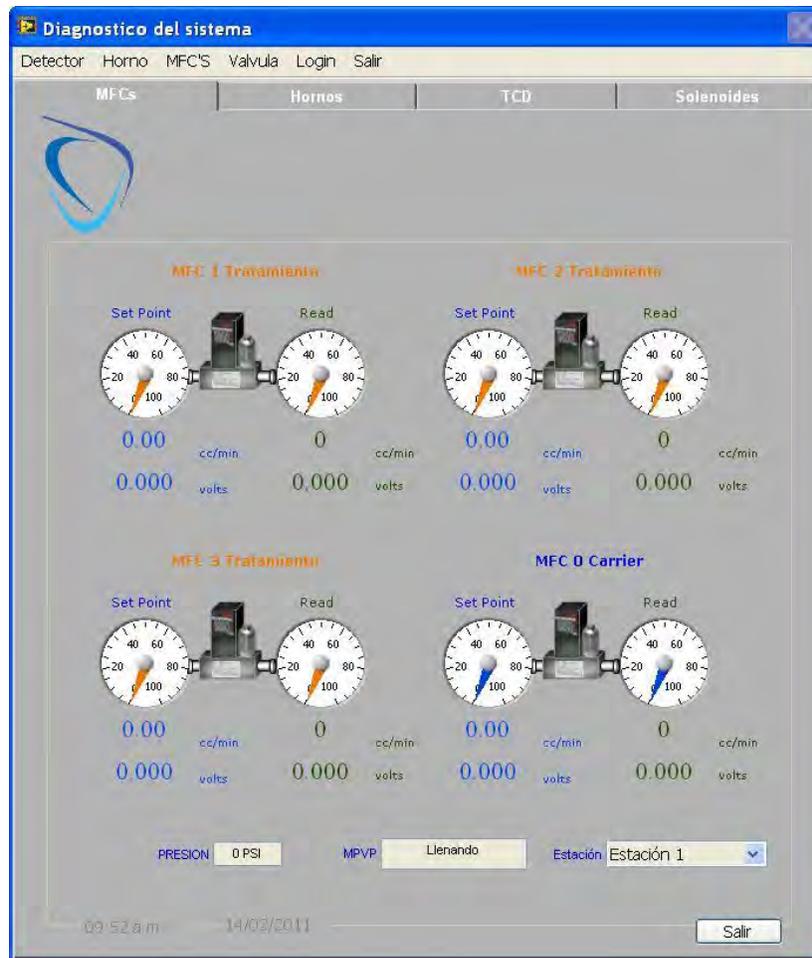


Figura 5.50 Diagnostico del sistema. MFC's (Fuente: Propia)

Para el diagnostico de los hornos podemos utilizar la pestaña señalada con el nombre de "HORNOS" que nos permite calentar el horno y revisar la señal de los termopares y en su caso realizar el entonamiento de los mismos (Figura 5.51).

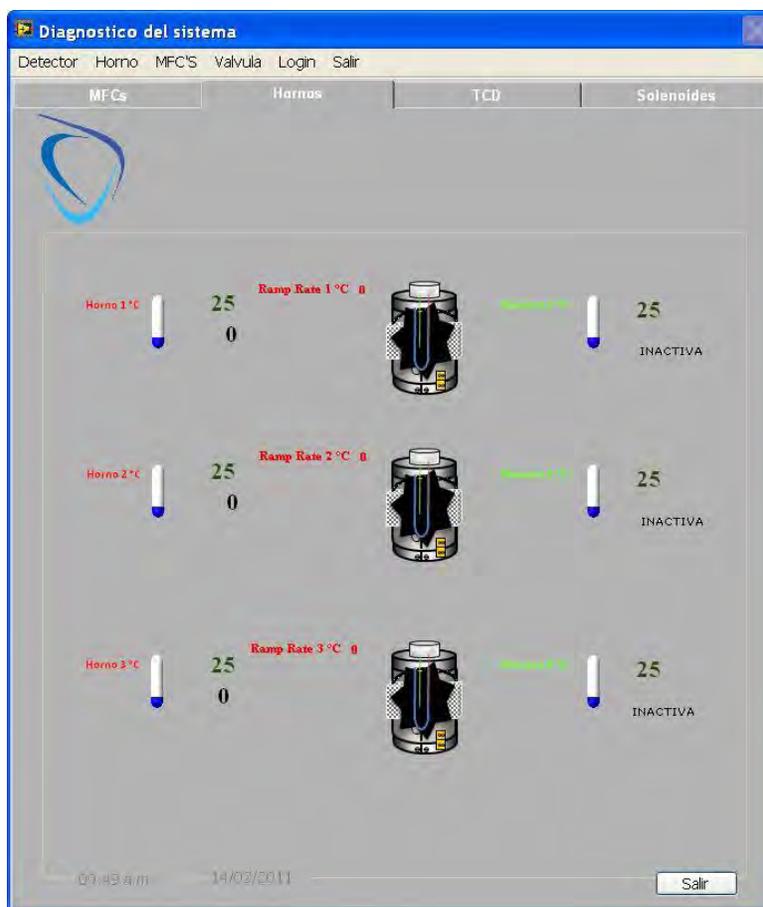


Figura 5.51 Diagnostico del sistema. Hornos (Fuente: Propia)

Para el diagnostico de detector TCD (figura 5.52), la pantalla de diagnostico nos permite encenderlo, modificar su corriente, realizar la calibración del TCD y realizar una prueba de análisis sin la necesidad de correr algún experimento y verificar su señal siempre y cuando cumplamos la condición de que exista flujo de gas *carrier* en los filamentos de detector.

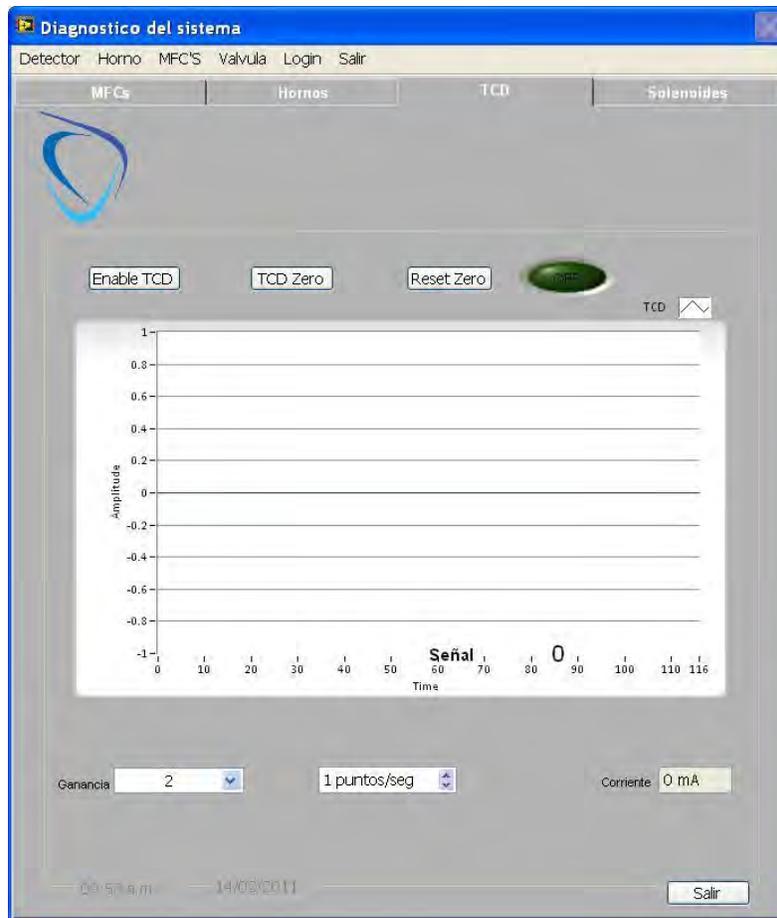


Figura 5.52 Diagnostico del sistema. TCD (Fuente: Propia)

Por otro lado, los dispositivos que nos permiten conmutar los distintos gases alrededor de las tuberías, son las válvulas solenoides. Si alguna de las válvulas se encontrara desconectada o no respondiera adecuadamente generaría una mezcla de gases o la asignación de un gas no deseado a la hora de los experimentos. Para prever este problema nos auxiliamos de la siguiente pestaña de la pantalla de diagnostico de la Figura 5.53 con la cual podemos abrir y cerrar cualquiera de las válvulas mediante un doble clic o mediante un “Enter” desde el teclado, así podremos revisar físicamente si la válvula responde con forme la HMI y verificar de donde proviene el problema o reemplazarla si es necesario.

## CAPITULO 5 SOFTWARE

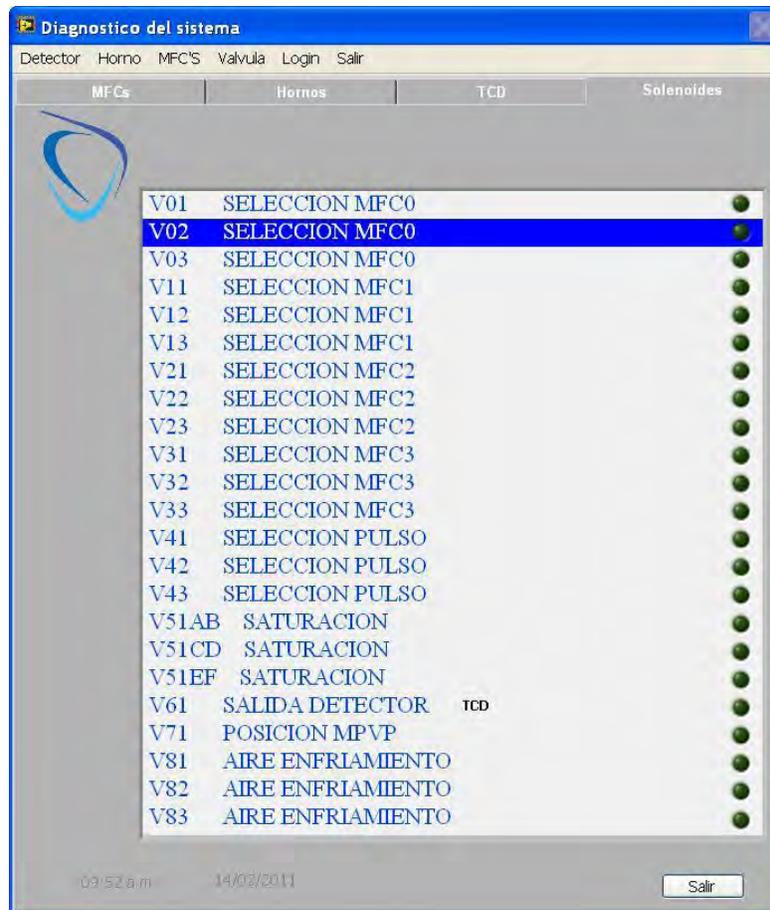


Figura 5.53 Diagnostico del sistema. Válvulas solenoides (Fuente: Propia)

### CONCLUSIONES

En la Facultad de Estudios Superiores - Campo 4 y especialmente en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica no existe una materia o curso dedicado especialmente al desarrollo de sistemas de adquisición de datos e interfaces HMI a pesar de que son un gran campo de trabajo para los egresados de dicha carrera.

LabVIEW y otras herramientas de su tipo se utiliza ampliamente a nivel industria, ya que mediante él se desarrollan sistemas de control automatizado.

Esto implica que cualquier estudiante que tenga las bases para el desarrollo de sistemas de adquisición de datos e interfaces HMI tendría un paso adelante en la industria, por lo que sugiero humildemente dicha situación sea tomada en cuenta al momento de crear y/o modificar los planes de estudio de la Facultad.

De manera general todos los objetivos fueron alcanzados. Es importante mencionar que el trabajo explicado en este escrito fue desarrollado siempre teniendo en mente dichos objetivos y en especial los requerimientos del Laboratorio de Caracterización y Espectroscopia del IMP. A continuación se enumeran los objetivos alcanzados.

Se desarrolló un nuevo sistema de adquisición de datos que permite la operación y control del sistema original.

Se reutilizó casi todo el hardware perteneciente al sistema original y pudo trabajar sin problema con el nuevo sistema de adquisición de datos.

Se generó una interfaz (HMI) capaz de definir y calendarizar experimentos, recopilar datos para un posterior análisis, guardar información mediante archivos, aunque no se logro el desarrollo al cien por ciento de la realización de reportes debido a que el usuario utilizara herramientas especializadas para ello, si se creó una base potencial para que pueda hacerlo.

## CONCLUSIONES

Dentro de las características de la HMI, se desarrolló una característica que la anterior aplicación no tenía, y esta es la posibilidad de crear distintas cuentas de usuario, que permite restringir actividades a operadores no calificados.

Al rehabilitar el sistema, no solo se reutilizaron los sensores y actuadores del sistema, sino también permitió proporcionar mantenimiento preventivo al equipo en general y mantenimiento correctivo a algunas de sus partes.

La reutilización de los dispositivos de protección, en especial el *Watch Dog*, posibilita en el futuro crear nuevas rutinas en la aplicación, para el mejoramiento del sistema de protección.

El desarrollo en LabVIEW de la interfaz, permitirá adaptarla y enriquecerla a medida que el operador lo demande, ya que si bien no es una aplicación de nivel comercial, se acerca mucho, gracias a los detalles visuales y la estructura de la información, muy parecida al ambiente Windows y a los principios de Jacob Nilsen aplicados al desarrollo de la interfaz.

La implementación de la computadora industrial PXI 1031 es uno de los detalles más significativos de la rehabilitación, ya que no solo se contara con una computadora capaz de realizar sus funciones en ambientes agresivos, sino que tiene la capacidad de conectar en ellas más módulos de adquisición de datos, para tener el control de todo el sistema, sin depender del sistema externo.

Aunque no se llegó a realizar un gran desarrollo en la sección de análisis por computadora, por otro lado se pueden graficar los datos e imprimirlos o en caso conveniente compartir los datos con otro tipo de software especializado en el análisis de la caracterización de catalizadores.

También se pudo crear una interfaz que permite al personal técnico especializado realizar operaciones de diagnóstico y mantenimiento al momento de proporcionar soporte al AMI-3.

## CONCLUSIONES

Por último y no menos importante, la forma en la que se estructuran y se guardan los archivos se hacen en forma de texto plano. Esto con la intención de que puedan ser modificados en cualquier procesador de palabras u hoja de cálculo o software especializado para manejar este tipo de información sin la necesidad de recurrir directamente a la aplicación.

## RECOMENDACIONES

De ser posible en el futuro implementar un mejor sistema de enfriamiento en los hornos (por ejemplo, utilizar el control PID que puede implementarse con LabVIEW en las válvulas de aire) para tener un mejor control en la temperatura durante el proceso de calentamiento así como de enfriamiento.

Antes de realizar ampliaciones al sistema implementado, tomar en cuenta el incremento del consumo de energía de los sensores y actuadores requeridos, para determinar si las fuentes de poder son suficientes para suministrarles la energía que necesitan.

La fuente de alimentación del módulo electrónico de I/O Rack y el *Watch Dog* pertenece a las tarjetas de adquisición, por lo cual es importante considerar sus limitaciones. Cualquier modificación en ellos debe estar basada en las especificaciones de las tarjetas y la PXI 1031.

Tener siempre protegida la pantalla LCD con una envoltura plástica transparente resistente a ambientes agresivos con agentes corrosivos, para que la constante manipulación exposición no vaya a manchar o dañar permanentemente la pantalla impidiendo la normal visualización de la misma.

Tomar en consideración para futuras modificaciones que la rehabilitación del sistema de caracterización y el desarrollo de la interfaz se realizaron en el área de Electrónica Analítica del IMP. Esto con el objeto de proveer al equipo los conocimientos adquiridos por el personal del área en relación al equipo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Vergara, Rodolfo**. Catálisis: piedra angular de la industria de hoy. *Virtualpro*. [En línea] 2004. [http://www.revistavirtualpro.com/ediciones/catalisis\\_catalisis\\_piedra\\_angular\\_de\\_la\\_industria\\_de\\_hoy-2004-12-01\\_4..](http://www.revistavirtualpro.com/ediciones/catalisis_catalisis_piedra_angular_de_la_industria_de_hoy-2004-12-01_4..)
2. La catalisis del Petroleo. [En línea] <http://franciscoruiz.blogia.com/2007/122703-la-catalisis-del-petroleo.php>.
3. *Ciencia y Experimentos, Energia y Potencia*. **Spurgeon, R. y Flood, M.** Buenos Aires : Lumen, 1991.
4. **CEMANEC, [int.]**. *1ra Olimpiada Petrolera Venezolana, Certamen Preliminar Institucional, PDVSA*. 1998.
5. **Chang, Raymon**. *Química*. s.l. : Mac Graw Hill, 2005.
6. [En línea] [www.icb.csi](http://www.icb.csi).
7. *Caracterización de productos metálicos de catalizadores gastados utilizados en la industria petrolera*. **Morales, Ramírez y otros**. 2010, Vol. 1(2).
8. *Elements of X-Ray Diffraction*. **Cullity, B.D.** 428, s.l. : Addison-Wesley, 1978. 430.
9. **L, Grahame**. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. s.l. : Arthur M. James, 1987.
10. *AMI-1 Reactor Manual*. Pittsburg : Altamira Instruments.
11. *Installation and operating manual Brooks Mass Flow Controller* . s.l. : Brooks Instrument, 2002.
12. *Multiposition Electric Actuator Instruction Manual*. USA : Valco Instruments, 2000.
13. *2 position Electric Actuator Instruction Manual*. USA : Valco Instruments, 1997.
14. *500 Series Measurement and Control System*. s.l. : KEITHLEY.
15. *AMI-3 Reactor Manual*. Pittsburg : Altamira Instruments, 1993.
16. [En línea] [Http://www.albertolacalle.com/hci\\_principios.htm](http://www.albertolacalle.com/hci_principios.htm).
17. *PCL-711B PC MultiLab Card User's Manual*. UK : Advantech Co., 1994.
18. *LabVIEW: Measurements Manual*. Austin TX, USA : National Instruments Corp, 2000.

## BIBLIOGRAFIA

19. **R.F. Coughlin, F. F. Driscoll.** *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. México : Prince-Hall Hispanoamericana S.A., 1993.
20. **Semiconductors, National.** [En línea] 1976. [www.national.com](http://www.national.com).
21. *DAQ: Static DIO Register-Level Programmer Manual for NI 6509, 651x, 6520, 6521, and 6528 Devices*. s.l. : National Instruments, 2005.
22. *M Series User Manual*. s.l. : National Instruments, 2007.
23. *NI 6722/6723 Specifications*. s.l. : National Instruments, 2007.
24. *LabVIEW Graphical Programming for Instrumentation, Users Manual*. Austin TX, USA : National Instrumentes Corp, 1999.
25. *G programming Reference Manual*. Austin TX, USA : National Instruments Corp, 1998.
26. *LabVIEW: Graphical Programming for Instrumentation, Tutorial*. Austin TX, USA : National Instruments Corp, 1996.
27. **L. K. Well, J. Travis.** *LabVIEW for everyone*. NJ, USA : Prince-Hall Inc., 1997.
28. **Pueyo, Rosanna Pérez.** *Procesado y Optimización de Espectros Raman mediante Técnicas de Lógica Difusa*. España : Universidad Politécnica de Cataluña, 2005.

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Entradas digitales.....	91
Tabla 3.2 Entradas analógicas.....	91
Tabla 3.3 Salidas analógicas.....	92
Tabla 3.4 Salidas digitales.....	92
Tabla 4.1 Modelos comerciales de tarjetas DAQ.....	99
Tabla 4.2 Entradas y salidas del sistema.....	124
Tabla 5.1 Factor de conversión (Base Nitrógeno) MFC Brooks 5850E.....	156

## ANEXO

## Diagrama de bloque del SIMPCAR

Para el desarrollo de los procesos que dan lugar a la caracterización de datos es importante destacar la programación en forma de diagrama (figura A.1), que nos brinda el programa LabVIEW.

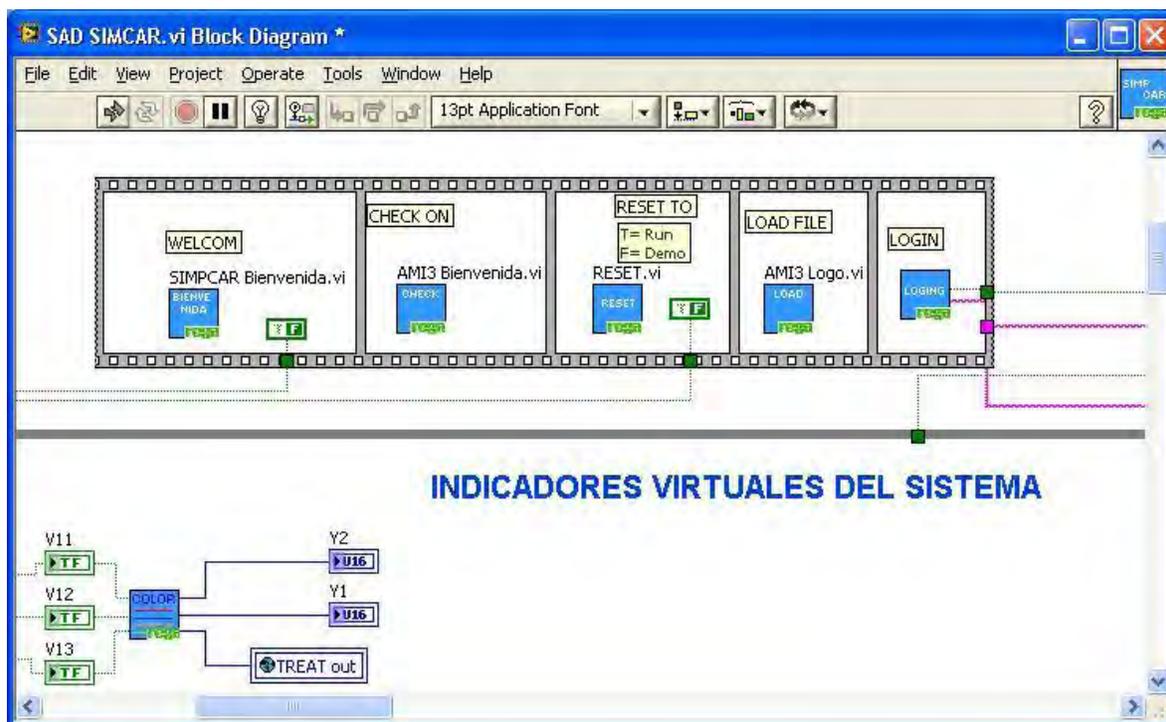


Figura A. 1 Diagrama de bloques SIMPCAR. Condiciones Iniciales (Fuente: Propia)

Este diagrama de bloques se distingue por tener en el varias estructuras de programación, que están representadas en forma de subVI (figura A.2) o directamente por medio de estructuras de programación: *while*, *for*, *case*, etc.

## ANEXO

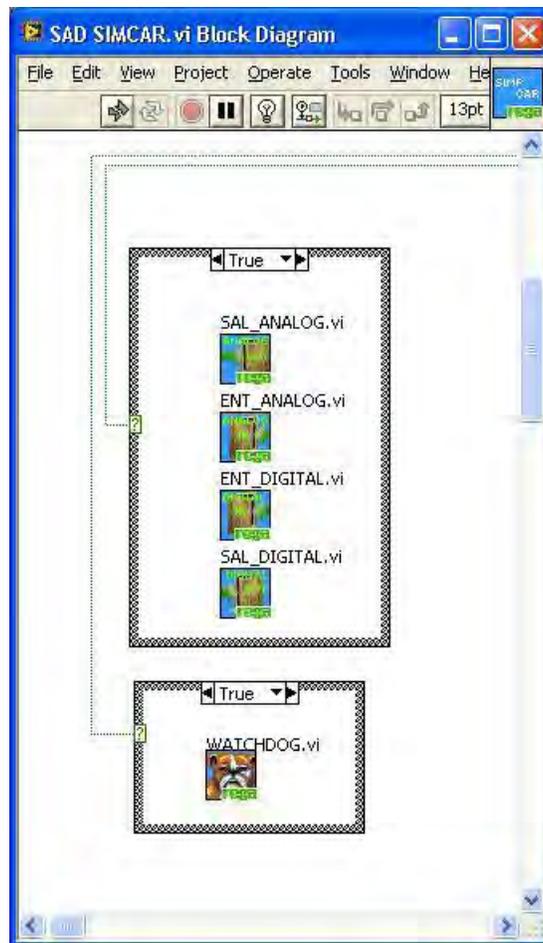


Figura A. 2 Diagrama de bloques SIMPCAR. Comunicación I/O y Watch Dog (Fuente: Propia)

En el caso del programa SIMPCAR el diagrama principal se encuentra conformado por varias estructuras que en su interior se encuentran subVI que están constituidos por diagramas de flujo, como se ve en la Figura A.3.

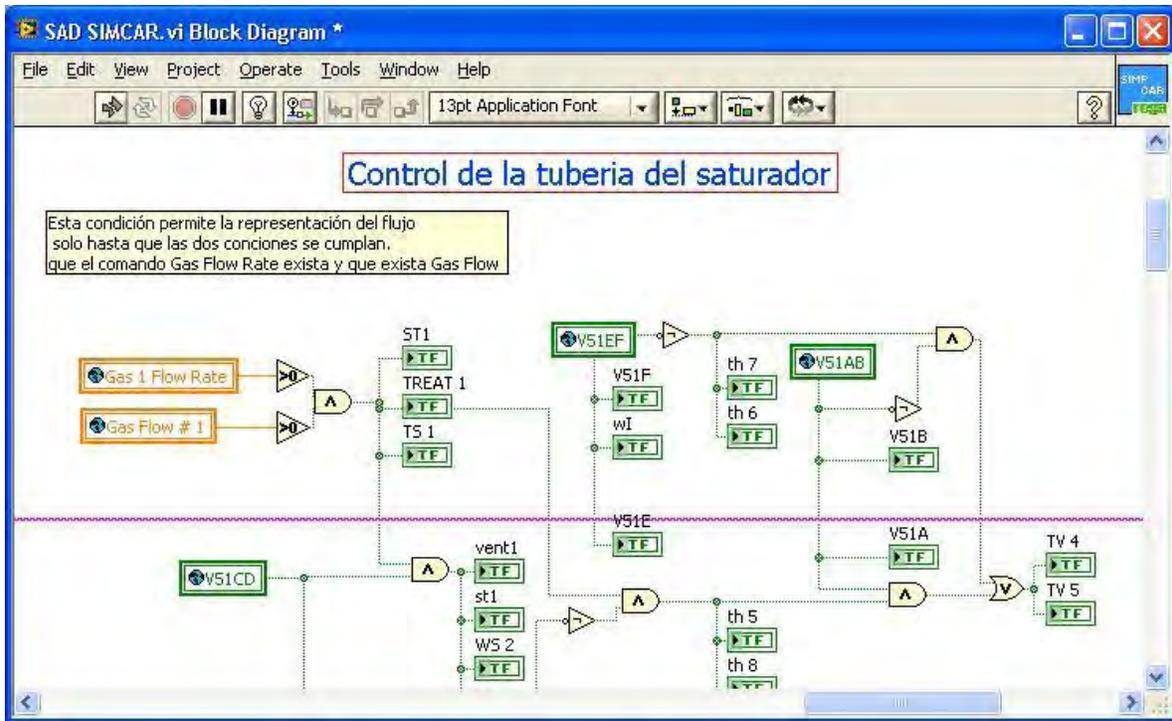


Figura A. 3 Diagrama de bloques SIMPCAR. Indicadores de válvulas solenoides (Fuente: Propia)

Como se muestra en la figura todos los VI's están organizados por medio de jerarquías (figura A.4), donde se encuentran desde VI's que solo realizan cálculos, hasta VI's que generan o leen señales provenientes de las tarjetas DAQ.

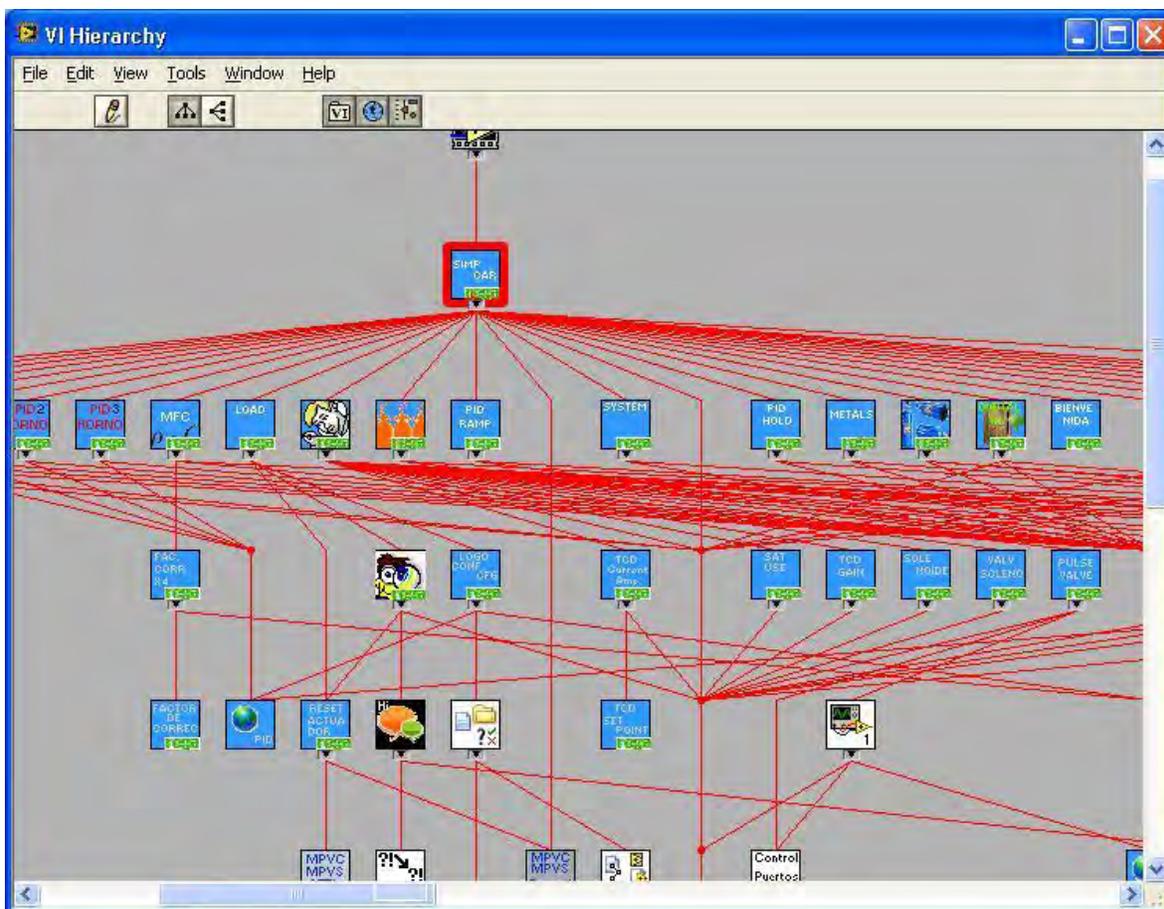


Figura A. 4 Jerarquía de los subVI's del SIMPCAR (Fuente: Propia)

Para correr el programa es necesario la utilización de varios subVI's, de entre los cuales destacan los siguientes:

### Controlador de flujo másico (MFC).

Una de las variables que se necesita controlar al momento de realizar experimentos en el AMI-3, es el flujo de diversos gases. Estos gases, como ya se explicó antes, se utilizan con diversos fines: para tratamiento de los catalizadores, para arrastrar las componentes que se desprenden de los mismos y llevarlos hacia el DCT, para arrastrar las moléculas que no se adhirieron a los materiales, etcétera.

## ANEXO

En el trabajo de tesis explicado aquí, una de las tareas principales fue determinar el voltaje necesario que se debe poner en una salida analógica de voltaje del SAD, conectada a las terminales de control de un controlador de flujo másico (MFC por sus siglas en inglés), de tal forma que este proporcionara al sistema de caracterización el flujo volumétrico que el usuario ha programado. A continuación se explica cómo se hizo.

El sistema de caracterización utiliza 4 MFC's, uno de ellos se usa para manejar el gas de arrastre o *carrier* y los otros 3 son para manejar los gases de tratamiento.

En ambos casos, gas de arrastre y gases de tratamiento, es necesario manejar flujos de gas volumétrico (volumen/tiempo). Aunque los MFC's son fabricados para controlar flujo másico (masa/tiempo), pueden ser utilizados para que de manera indirecta controlen flujo volumétrico.

Un MFC es ajustado en fábrica para proporcionar un flujo másico de un gas en especial, dentro de un rango de trabajo y para unas condiciones de presión atmosférica y temperatura de gas. Todas las condiciones de ajuste vienen especificadas en sus datos de placa.

Típicamente el *setpoint* de un MFC es programado por medio de un voltaje o corriente, proporcionales al rango de trabajo del mismo. Los rangos son de 0-5 V CD para el voltaje y 4-20 mA para corriente.

En el caso del AMI-3, como ya se dijo en un capítulo anterior, se utilizan MFC's marca Brooks, para Nitrógeno (N<sub>2</sub>), rango de 0-100 SCCM, programados por voltaje y ajustados a 0 °C y 760 mmHg.

Para utilizar el MFC con un gas diferente para el cual fue ajustado en fábrica, es necesario realizar una corrección matemática que relacione los flujos másicos de ambos gases. Para ello se utiliza una tabla de factores de corrección proporcionada por el fabricante de los MFC's.

## ANEXO

Las unidades de flujo volumétrico utilizadas en el sistema de caracterización son centímetros cúbicos por minuto (CCM), mientras que las unidades de flujo másico que manejan los MFC's son centímetros cúbicos por minuto estándar (SCCM).

Como se dijo al principio de esta sección, a partir del flujo volumétrico que el usuario programa es necesario calcular el voltaje que debe aplicarse en las terminales de control del MFC. Para lograrlo es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Conocer el flujo volumétrico (CCM) y tipo de gas que el usuario requiere.
2. Calcular el flujo másico (SCCM) correspondiente, haciendo las correcciones necesarias por tipo de gas y condiciones atmosféricas.
3. Calcular el voltaje necesario que debe aplicarse en las terminales de control del MFC.
4. Programar a la salida analógica de voltaje correspondiente para que aplique dicho voltaje al MFC.
5. Monitorear el flujo que está entregando el MFC.

Para el primer paso es necesario que el usuario programe el flujo volumétrico que necesita. Esto lo puede hacer ya sea programándolo en los procedimientos de su experimento o directamente en la pantalla principal utilizando los controles correspondientes.

El valor del flujo volumétrico que el usuario requiere es almacenado en una variable del programa para ser utilizado cuándo se requiera.

El segundo paso consiste en calcular el flujo másico correspondiente al flujo volumétrico deseado. La ecuación que los relaciona es:

$$F_m = KF_v$$

Donde  $F_m$  es el flujo másico,

## ANEXO

$F_v$  es el flujo volumétrico, y

$K$  es el factor de corrección por temperatura de gas y presión barométrica del lugar; este factor se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{273.15 + T_{cal}}{273.15 + T_{loc}} \times \frac{P_{bar\ loc}}{P_{bar\ cal}}$$

Donde  $T_{cal}$  = Temperatura de calibración del MFC en °C (regularmente dato de placa). Propiamente es la temperatura del gas utilizado al momento de calibrar el MFC.

$T_{loc}$  = Temperatura local en °C, en realidad debía ser la temperatura del gas, pero se asume que el gas tiene la misma temperatura del medio ambiente y además se asume un promedio. Los usuarios del AMI-3 utilizan el valor de 30 °C como promedio ya que las tuberías y válvulas son calentadas a esa temperatura. Es más común utilizar como promedio 25 °C.

$P_{bar\ loc}$  = Presión barométrica local. Para la ciudad de México es 585 mmHg.

$P_{bar\ cal}$  = Presión barométrica de calibración (dato de placa). Generalmente las calibraciones de los MFC's se hacen a nivel del mar donde la presión es de 760 mmHg.

Con los datos de los MFC's que usa el sistema de caracterización podemos calcular el factor de corrección  $K$ .

$$K = \frac{273.15 + 0.0}{273.15 + 30.0} \times \frac{585}{760}$$

$$K = 0.693563$$

Con los datos del flujo volumétrico ( $F_v$ ) y factor de corrección ( $K$ ) se calcula el flujo másico ( $F_m$ ) que debemos programar en el MFC.

## ANEXO

Todo lo anterior funciona si el gas que el usuario requiere es el mismo que el MFC maneja, en este caso Nitrógeno (N<sub>2</sub>). En el caso de que el gas sea diferente, es necesario hacer una corrección por tipo de gas.

La corrección por tipo de gas está determinada por la siguiente ecuación:

$$\frac{F_{ma}}{F_{mr}} = \frac{K_a}{K_r}$$

Donde  $F_{mr}$  = Flujo másico del gas de referencia

$F_{ma}$  = Flujo másico del gas actual

$K_r$  = Factor de conversión del gas de referencia, y

$K_a$  = Factor de conversión del gas actual.

Los factores de conversión de los gases son proporcionados por los fabricantes de MFC's. Estos factores son calculados en base a la densidad del gas en cuestión (a condiciones estándar) y de su coeficiente calorífico. Regularmente se toma como base el N<sub>2</sub>, es decir, el factor de conversión del N<sub>2</sub> es 1 y los factores de los demás gases son relativos a él.

De la ecuación anterior tenemos

$$F_{mr} = F_{ma} \times \frac{K_r}{K_a}$$

Como ejemplo, si el usuario necesita 30 CCM de Helio (He) y su MFC es para Nitrógeno, primero se calcula el flujo másico correspondiente haciendo la corrección por temperatura y presión barométrica.

$$F_m = 0.693563 \times 30$$

$F_m = 20.80689$  SCCM de He.

Después se procede a hacer la corrección por tipo de gas utilizando los factores de corrección siguientes:

## ANEXO

$K_r = 1.000$  ( $N_2$ )

$K_a = 1.390$  (He), calculando

$$F_{mr} = 20.80689 \times \frac{1.000}{1.390}$$

$F_{mr} = 14.969$  SCCM.

En resumen, para que el usuario obtenga 30 CCM de Helio en un MFC de Nitrógeno, a condiciones de la ciudad de México, debe programarlo como si fuera a obtener 14.969 SCCM de Nitrógeno.

El tercer paso consiste en calcular el voltaje que debe aplicarse entre las terminales de control del MFC para obtener el flujo volumétrico deseado. Para el caso de los MFC's del sistema de caracterización, el voltaje se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{F_{mr}}{Rango} \times V_{et}$$

Donde  $V_c$  = Voltaje de control,

$F_{mr}$  = Flujo másico de referencia, calculado anteriormente,

Rango = Rango de trabajo en SCCM del MFC (100 SCCM para los MFC's del AMI-3)

$V_{et}$  = Voltaje de control a escala total

Continuando con el ejemplo:

$$V_c = \frac{14.969}{100} \times 5$$

$V_c = 0.74845$  Vdc

En otras palabras, si se desea obtener un flujo de 30 CCM de He en el AMI-3, se debe aplicar un voltaje de 0.74845 V DC entre las terminales de control del MFC;

## ANEXO

el cuarto paso se ocupa de hacer esto, es decir, de programar la salida analógica correspondiente para que entregue ese voltaje entre las terminales del MFC que va a controlar el flujo.

Aplicando las ecuaciones en el lenguaje de programación de LabVIEW, tenemos el siguiente diagrama de la Figura A.5.

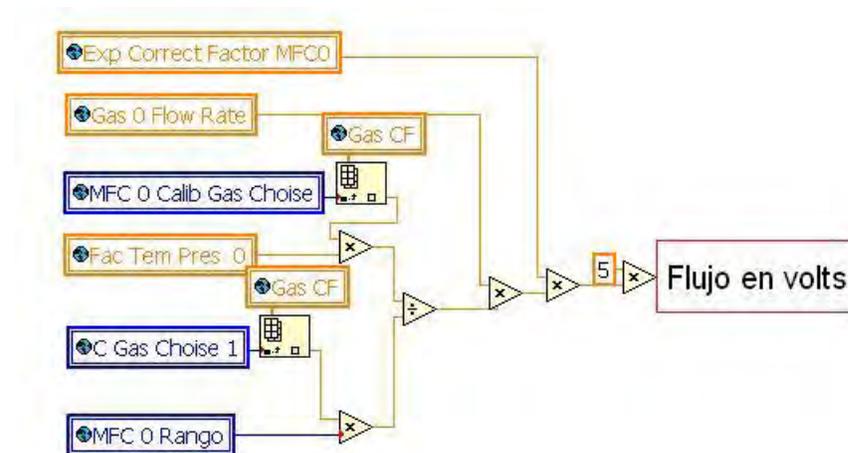


Figura A. 5 Diagrama para determinar el voltaje se salida del MFC (Fuente: Propia)

Como se observa en la figura las variables son:

- **Gas 0 Flow Rate:** Valor del flujo deseado.
- **Fac Temp Pres:** Factor de corrección.
- **C Gas Choise 1:** Ka.
- **MFC 0 Calib Gas Choise:** Kr.
- **MFC 0 Rango:** Rango del controlador.

Todos los MFC's tienen una salida analógica de corriente o voltaje que es proporcional al flujo másico que está controlando. Los MFC's del sistema de caracterización tienen una salida de 0-5 V DC. Este voltaje es útil para monitorear

## ANEXO

si verdaderamente están presentes los flujos programados. El quinto paso se ocupa de esta situación.

En este caso se hacen cálculos a la inversa, es decir, a partir del voltaje leído en alguna entrada analógica del SAD se debe calcular el flujo volumétrico del gas en cuestión. Se utilizaron las mismas ecuaciones descritas en párrafos anteriores, como se observa en la Figura A.6

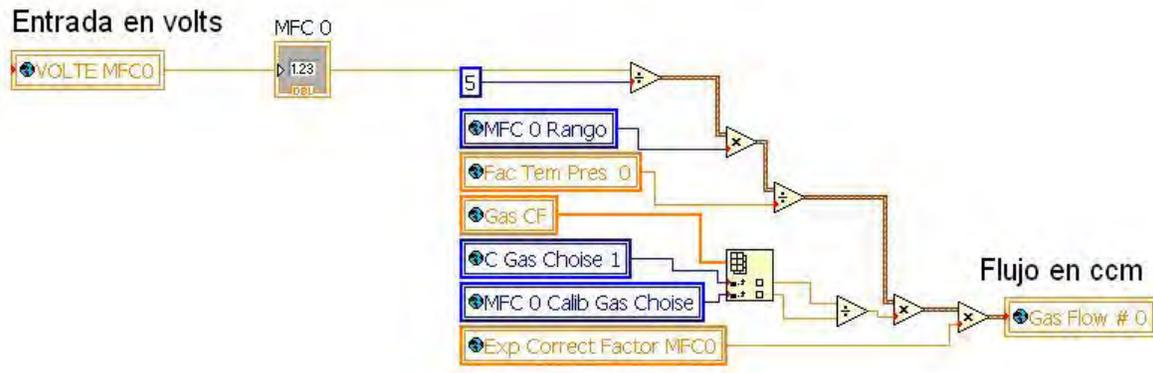


Figura A. 6 Calculo de flujo volumétrico (Fuente: Propia)

Como ejemplo, si se lee un voltaje de 1.5 V CD y se está usando Argón como gas, calculamos el flujo másico equivalente del gas de referencia:

$$F_{mr} = \frac{V_c}{V_{et}} \times Rango$$

$F_{mr} = (1.5/5) \times 100 = 30$  SCCM de Nitrógeno.

Ahora procedemos a calcular el flujo másico correspondiente al Argón:

$$F_{ma} = F_{mr} \times \frac{K_a}{K_r}$$

Donde los factores de conversión para el Argón y Nitrógeno son 1.40 y 1.00 respectivamente.

## ANEXO

$$F_{ma} = 30 \times (1.40/1.0) = 42 \text{ SCCM de Argón.}$$

Finalmente para calcular el flujo volumétrico del Argón, utilizamos la siguiente relación:

$$F_v = \frac{F_m}{K}$$

Para el caso del AMI-3 explicamos que  $K = 0.693563$  en párrafos anteriores, entonces:

$$F_v = 42/0.693563 = 60.56 \text{ CCM de Argón.}$$

En resumen, al leer 1.5 Vdc en la salida analógica del MFC que está controlando un flujo de Argón, el flujo volumétrico de dicho gas que está presente es de 60.56 CCM.

### Actuadores multiposición

Los dos actuadores multiposición (figura A.7) acoplados a las válvulas de cuatro posiciones, permiten conmutar el flujo de gases entre las distintas estaciones de trabajo.

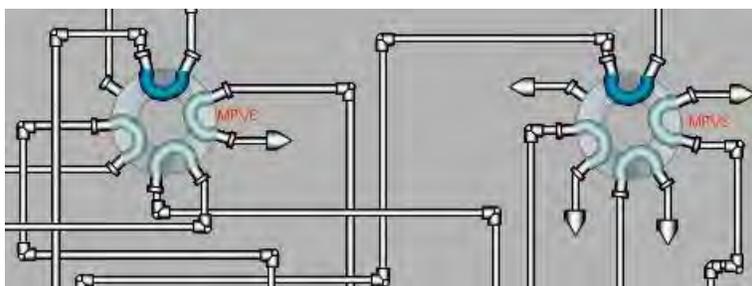


Figura A.7 Actuadores multiposición (Fuente: Propia)

Para controlar el movimiento de cada actuador es necesario el uso de 4 señales digitales: tres señales para determinar la posición del actuador, ya que cuenta con 4 posiciones posibles y una señal de habilitación para el movimiento del actuador.

## ANEXO

Los tres bits forman una palabra de control que es dirigida al MFC mediante código Binario.

En este caso los actuadores utilizan el código BCD en lógica negativa <sup>(12)</sup>. De esta manera utilizando lógica negativa, el valor de la palabra de control queda de la siguiente manera.

Posición 1 1110

Posición 2 1101

Posición 3 1100

Posición 4 1011

Como se dijo antes, las válvulas multiposición del AMI-3 son de 4 posiciones. Por tanto los actuadores que las mueven, tienen que girar hacia esas 4 posiciones posibles. Los primeros 3 bits representan la posición a la que la válvula es movida. El 4° bit representa la indicación de que la válvula sea movida.

Los 4 bits son puestos en 4 salidas digitales del SAD. Para que el actuador se mueva es necesario que se escriba primero el dato correspondiente a la posición antes de utilizar el bit de habilitación.

Después de que se ha escrito el dato de la posición, el habilitador debe permanecer en el nivel más alto de la lógica negativa, que será de 0V DC durante un periodo mínimo de 5 micro segundos <sup>(12)</sup>, para después regresar a su nivel bajo de 5V DC.

Para nuestro caso, cuando se desea mover el actuador los tres primeros bits de la palabra de control se escribe y permanece así hasta que nuevamente se desea mover el actuador, mientras que la habilitación espera 0.5 segundos después de que se ha escrito la palabra de control, para mantenerse en 0V DC durante 0.5 y regresar a su estado inicial (5V DC).

## ANEXO

Por ejemplo, para mover el actuador desde la posición 2 hasta la posición 4, el diagrama de tiempos sería el de la figura A.8.

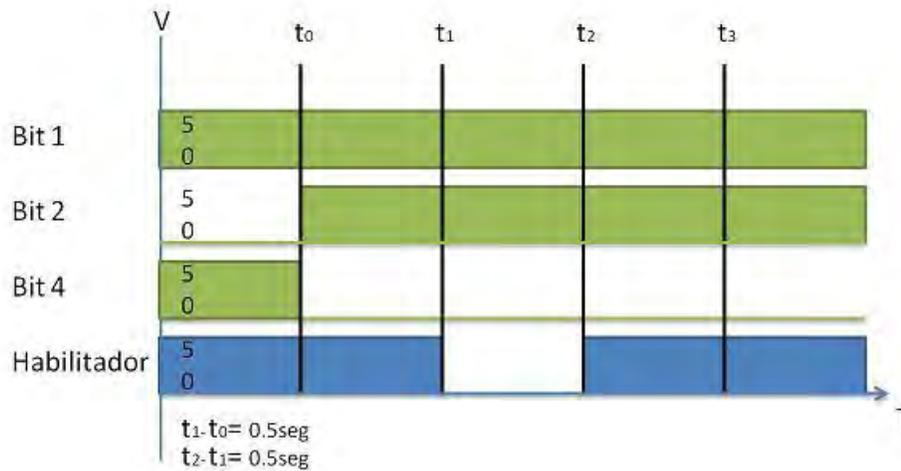


Figura A. 8 Diagrama de tiempos (Fuente: Propia)

El tiempo anterior a  $t_0$ , corresponde a cualquier otra posición, donde se encontrara el actuador (Posición 2). El intervalo entre  $t_0$ - $t_1$ , es donde el valor de la posición cambia de Posición 2 a Posición 4. Para que el actuador pueda moverse entre las posiciones es necesario poner en el valor más alto en el bit de habilitación, en esta caso 0 VCD durante 0.5 segundo. A partir de  $t_2$  el valor del habilitador regresa a su posición inicial, para mantenerse en espera de un nuevo movimiento.

Tanto los 3 bits que determinan la posición, como el bit de habilitación de cada actuador son semejantes por variables globales para que su valor pueda ser cambiado en cualquier segmento del programa.

La posición actual del actuador y de las válvulas es determinada por una máscara óptica de tal forma que cuando la posición actual se iguala con la programada, el actuador se detiene.

Si el valor de la posición programada fuera erróneo (111), el controlador se moverá de manera continua y no se detendrá ya que dicha posición nunca será

## ANEXO

encontrada por su control de movimiento. Por esta razón es tan importante que la posición se encuentre dentro de los valores adecuados antes de cambiar el valor del habilitador.

En la programación grafica de LabVIEW es fácil distinguir los tiempos entre el comando de posición y el habilitador, como se observa en las Figuras A.9 hasta A.13.

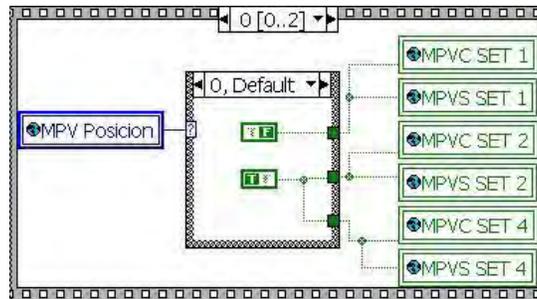


Figura A.9 Palabra de control para los actuadores MPVC y MPVS (Fuente: Propia)



Figura A. 10 Espera de 0.5 segundos (Fuente propia)

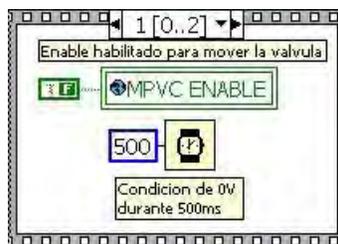


Figura A.11 Habilitación de 500mili segundos o 0.5 segundos para el actuador MPVC (Fuente: Propia)

## ANEXO



Figura A. 12 Habilitador a su estado anterior (Fuente: Propia)

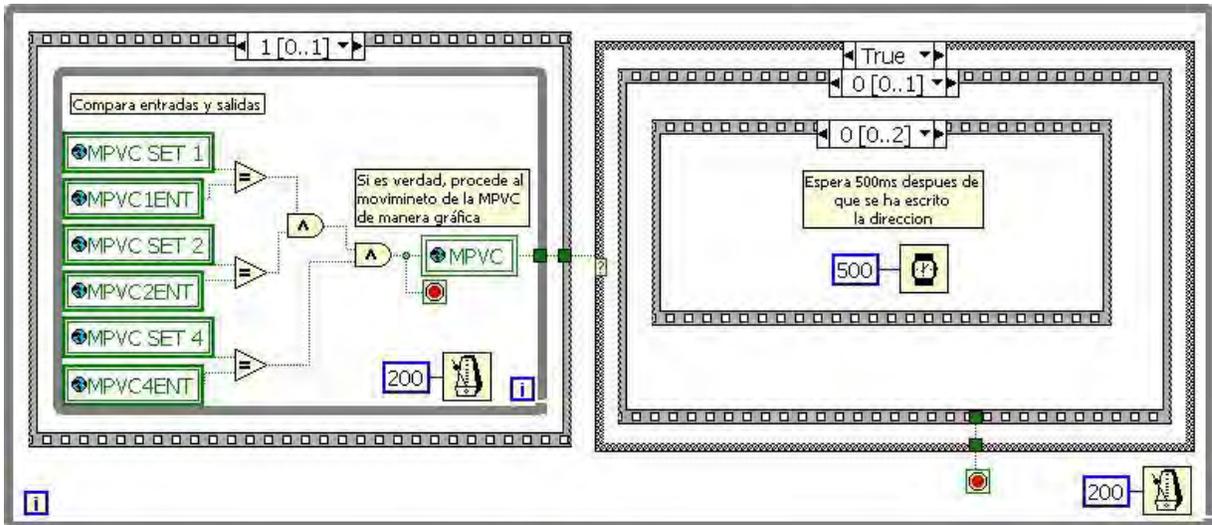


Figura A. 13 Movimiento del siguiente actuador (MPVS) (Fuente: Propia)

Como se dijo antes, la posición de cada válvula es determinada por 3 señales digitales proporcionadas por la máscara óptica del actuador. Estas señales son leídas en tres entradas digitales del SAD para que el usuario pueda ver en la HMI, de manera gráfica esta posición.

### Conversión de voltaje a temperatura

Como hemos mencionado anteriormente en la parte de Hardware, los sensores de temperatura que se utilizamos, son termopares tipo K que se encuentran conectados a un módulo electrónico que entregan señales de 0-5 VDC proporcional al rango de trabajo del termopar (-200 a 1350 °C).

## ANEXO

Por su naturaleza, los termopares K no tienen una curva de respuesta lineal. Debido a lo anterior es necesario linealizarla. Para hacerlo existen ecuaciones que deben aplicarse dependiendo del grado de exactitud deseado.

En otras palabras, el valor del voltaje entregado por los módulos de los termopares es la entrada de un subVI de ecuaciones donde se ha escrito la ecuación de linealización. La ecuación es aplicada hasta su octavo término. A la salida de ese subVI obtendremos un valor de temperatura ya linealizado el cual posteriormente es filtrado con el fin de obtener una mejor lectura de temperatura.

Este algoritmo (figura A.14) es aplicado a las señales provenientes de todos los termopares del nuevo SAD.

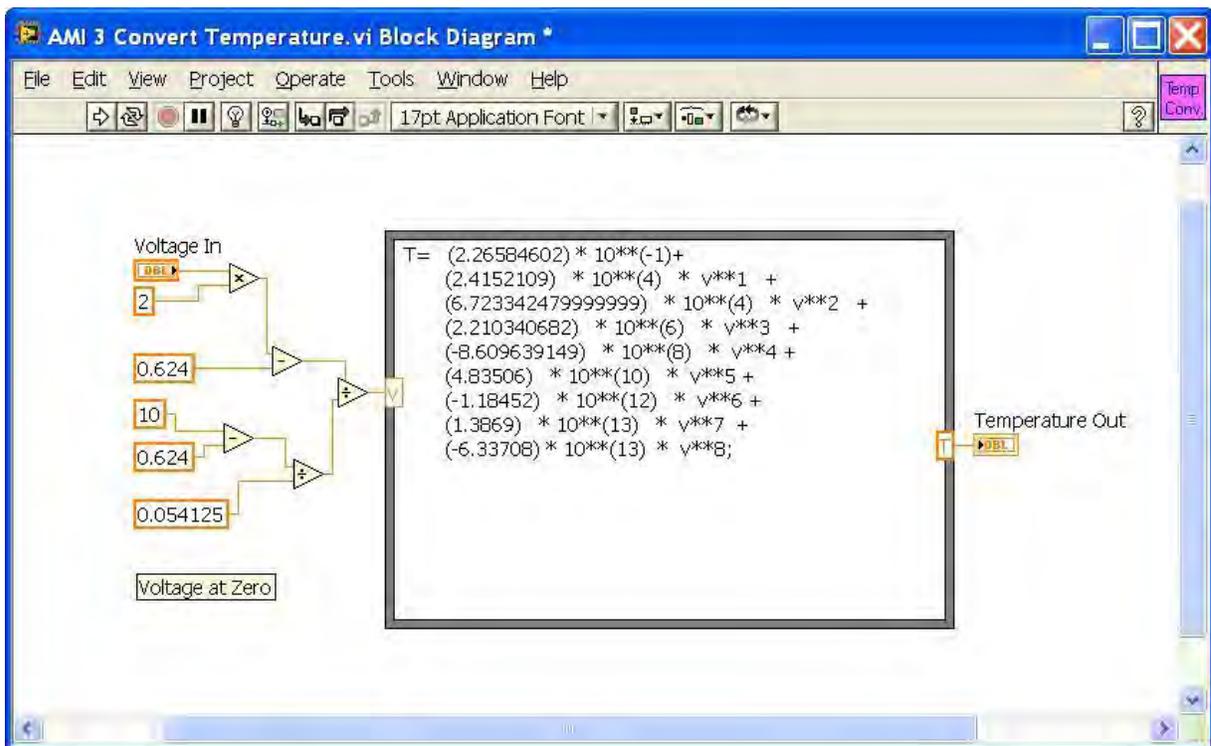


Figura A. 14 Conversión de voltaje a temperatura mediante polinomio (Fuente: Propia)

Este subVI nos permite obtener una lectura más lineal de la temperatura.

## GLOSARIO

**Actuador** – Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

**Balcony** – Sección de tubería que se encuentra a una temperatura constante mediante un arreglo de resistencias de calentamiento y un controlador de temperatura.

**Catálisis** - Es el proceso por el cual se aumenta o disminuye la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador.

**Catalizador** - Es una sustancia química, simple o compuesta, que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella pero sin llegar a formar parte de los productos resultantes de la misma

**Craqueo** - Es un proceso químico por el cual se descomponen moléculas de un compuesto para producir compuestos más simples.

**HMI** – Interfaz de usuario por sus siglas en idioma inglés, (Human Machine Interface) que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de Automatización de procesos. La **interfaz de usuario** es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar.

**Keithley** - Sistema de Adquisición de Datos que utilizaba el sistema original AMI-3.

## GLOSARIO

**LabVIEW** - es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación, generalmente utilizado en instrumentación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

**MFC** - Un controlador de flujo másico (MFC) es un dispositivo usado para medir y controlar el flujo de gases. Un regulador de flujo de masa está diseñado y calibrado para el control de un tipo específico de gas en un rango de caudales.

**PID** - Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

**SAD** - Sistema de Adquisición de Datos; consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

**Tarjetas DAQ** - La tarjeta DAQ son tarjetas insertables que permiten la entrada y salida de datos de computador a otros aparatos donde se conectan sensores y actuadores para interactuar con el mundo real. Los datos que entran y salen pueden ser señales digitales o análogas.

**TCD o Catarómetro** - es un instrumento utilizado para la determinación de la composición de una mezcla de gases.

**TPR/TPO/TPD** - Es un analizador automático diseñado para caracterización de catalizadores mediante: Reducción a Temperatura Programada (TPR), Desorción a Temperatura programada (TPD), Oxidación a Temperatura Programada (TPO), Valoración por pulsos.

**Transductor** - Es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.

**VI** - Los programas en G, o Vis (*“Virtual Instruments”*) constan de una interfaz interactiva de usuario y un diagrama de flujo de datos que hace las funciones de código fuente.

## GLOSARIO

**Watch Dog** - Aunque la traducción sea "perro-guardián", es un concepto de protección usado para volver a reiniciar el programa cuando éste "se pierde" o realiza una acción no prevista. Los watchdog existen físicos o por programa. Su funcionamiento es: Él cuenta cada ciertos pulsos de reloj en un determinado tiempo esperando algún evento generado por el programa, si no le llega tal el watchdog se activa y hace que todo empiece de nuevo y si le llega el evento, entonces <<todo está bien>> y no hace nada.