

**MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA
PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS.
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.**



MARIO JULIÁN DELGADO ALDANA
EDGAR RODOLFO RUIZ ESTUPIÑAN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005

MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA
PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS.
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.

MARIO JULIÁN DELGADO ALDANA
EDGAR RODOLFO RUIZ ESTUPIÑAN

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

DIRECTOR

MSc. DANIEL ALFONSO SIERRA BUENO
Grupo de Investigación CEMOS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

CODIRECTOR

MARLONG MEZA PEÑARANDA
INGENIERO DE PETRÓLEOS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL GAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2005

AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus sinceros agradecimientos a:

Al director del proyecto Daniel Alfonso Sierra Bueno, Ingeniero Electricista y Electrónico, Magíster en Ingeniería, por sus valiosos aportes, orientaciones y críticas constructivas en el desarrollo de este proyecto.

A Marlong Meza Peñaranda, Ingeniero de Petróleos, miembro actual del Centro de Investigación del Gas, por brindarnos la oportunidad de realizar este proyecto y por su constante apoyo como codirector del proyecto.

Al Ingeniero Electrónico Edgar Barajas, miembro del Centro de Investigación del Gas, por compartir sus conocimientos en la implementación del software y el hardware del simulador de corrosión.

Por último y no por menos importante, a nuestras familias por su paciencia y apoyo incondicional, así como a nuestros amigos y compañeros de carrera con quienes compartimos momentos inolvidables.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE ANEXOS	ix
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTA DE SIMULACIÓN DE CORROSIÓN	3
1.1 DESCRIPCIÓN	3
1.2 ESPECIFICACIONES	5
1.3 INSTRUMENTOS MONTADOS EN LA PLANTA FÍSICA	7
1.3.1 Transmisores:	7
1.3.1.1 Transmisores de presión	7
1.3.1.2 Transmisores de volumen	8
1.3.1.3 Transmisor de concentración de H ₂ S	9

1.3.2 Válvulas de control electro-neumáticas <i>ON/OFF</i>	10
1.3.2.1 Bobina Magnética	11
1.3.2.2 Válvula Neumática	11
1.3.2.3 Red Neumática	11
1.3.2.4 Actuador Giratorio	12
1.3.3 Válvulas de seguridad	12
1.4 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS	13
2. HARDWARE	15
2.1 DIVISIÓN EN BLOQUES DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE MANDO Y SUPERVISIÓN	16
2.2 BLOQUES REPRESENTATIVOS	16
2.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS BLOQUES DE LA TARJETA	18
2.3.1 Conversor corriente a voltaje	18
2.3.2 Protección y detección de lazo abierto	21

2.3.2.1 Circuito limitador de voltaje	22
2.3.2.2 Circuito de detección de lazo abierto	23
2.3.3 Control lógico de la tarjeta	28
2.3.3.1 Descripción del microcontrolador	29
2.3.3.2 Características útiles del modelo MC68HC908GP32	29
2.3.3.3 Asignación de puertos y módulos del microcontrolador	30
2.3.3.4 Oscilador para el microcontrolador	32
2.3.4 Referencia de voltaje	34
2.3.5 Etapa de potencia para el accionamiento de las válvulas	35
2.3.6 Aislamiento contra lazo de tierra y sobretensión	38
2.3.7 Conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C para la comunicación serial	41
2.3.8 Protección contra sobrevoltaje en el cable de comunicación serial	42
2.3.9 Regulación de voltaje	44
2.3.9.1 Protección contra sobrecarga	45
2.3.9.2 Protección contra picos de tensión	46

2.3.9.3 Conversión de voltaje	46
2.3.9.4 Rectificación	47
2.3.9.5 Filtrado	47
2.3.9.6 Regulación	48
3.3.10 Fuente de potencia de respaldo	49
2.4 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO	50
3. SOFTWARE	54
3.1 SOFTWARE IMPLEMENTADO EN EL MICROCONTROLADOR	54
3.1.1 Módulos hardware del microcontrolador MC68HC08GP32 que fueron empleados	56
3.1.1.1 Módulo de generación de pulsos de reloj (CGMC)	56
3.1.1.2 Puertos de entrada/salida (I/O)	56
3.1.1.3 Módulo de comunicación serial (SCI)	59
3.1.1.4 Módulo de conversión analógica a digital (ADC)	59
3.1.2 Formato de comunicación	60

3.1.3 Protocolo de comunicación	61
3.1.4 Diagrama de flujo del programa residente en el microcontrolador	63
3.2 SOFTWARE IMPLEMENTADO EN EL COMPUTADOR	68
3.2.1 Descripción del software de programación	68
3.2.2 Sinopsis del proceso de simulación a supervisar	69
3.2.3 Programa de mando y supervisión del sistema de simulación	70
3.2.4 Diagrama de flujo del sistema de control	71
3.2.4.1 Rutina de ejecución y mando	71
3.2.4.2 Rutina de supervisión de los valores de presión, nivel y concentración de H ₂ S	71
3.2.4.3 Rutina de creación y visualización del archivo de historial	72
3.2.5 Secuencia de ejecución del programa de mando y supervisión	73
3.2.5.1 Solicitud de contraseña	74
3.2.5.2 Asignación de nombre para el historial	74
3.2.5.3 Bucle principal de ejecución del programa	81
3.2.5.3.1 Control gráfico de la planta	82

3.2.5.3.2 Historial	83
3.2.5.3.3 Control de ejecución	84
3.2.5.3.4 Ajuste del rango de operación normal de la simulación	86
4. PRUEBAS Y OBSERVACIONES	87
5. CONCLUSIONES	91
6. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
GLOSARIO	98
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Nomenclatura empleada en la planta física de simulación	5
Tabla 2. Especificaciones de la Planta de simulación (general)	5
Tabla 3. Especificaciones de cada uno de los tanques en la planta	6
Tabla 4. Especificaciones sensor/transmisor inteligente de presión	7
Tabla 5. Especificaciones transmisor de nivel tipo sonda capacitiva	9
Tabla 6. Especificaciones Transmisor de H ₂ S	10
Tabla 7. Especificaciones bobina magnética	11
Tabla 8. Especificaciones válvula neumática	11
Tabla 9. Especificaciones actuador giratorio	12
Tabla 10. Especificaciones de las válvulas de seguridad	12
Tabla 11. Lista de componentes del convertidor corriente a voltaje	21
Tabla 12. Lista de componentes del limitador de voltaje	22

Tabla 13. Lista de componentes del circuito conversor de voltaje	25
Tabla 14. Parámetros del transistor 2N2222	26
Tabla 15. Lista de componentes del sistema de control general de la tarjeta	33
Tabla 16. I_C , f_T y h_{FE} del transistor 2N2222	36
Tabla 17. Lista de componentes de la etapa de potencia para las válvulas	37
Tabla 18. Asignación de pines para las válvulas	38
Tabla 19. Componentes del circuito de aislamiento galvánico	40
Tabla 20. Componentes de la etapa para conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C	42
Tabla 21. Componentes del sistema de protección contra sobrevoltaje del cable de comunicación	44
Tabla 22. Valores para los fusibles en el primario de los transformadores	46
Tabla 23. Lista de componentes del circuito de regulación de voltaje DC de la tarjeta	49
Tabla 24. Características de la UPS	50

Tabla 25. Valores máximos de operación dentro de la simulación	86
Tabla E1. Componentes electrónicos empleados en la tarjeta de adquisición y control.	109

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la planta física de simulación	4
Figura 2. Parámetros para calcular el volumen en un tanque	8
Figura 3. Esquema físico del sistema de mando y supervisión	14
Figura 4. División en bloques de la tarjeta de interfaz / control	17
Figura 5. Modelo básico del circuito eléctrico de un transmisor de instrumentación	18
Figura 6. Circuito del conversor corriente a voltaje	20
Figura 7. Circuito limitador de voltaje	22
Figura 8. Circuito de detección de lazo abierto	24
Figura 9. Operación en saturación del circuito conversor de voltaje	26
Figura 10. Operación en corte del circuito conversor de voltaje	27
Figura 11. Asignación de pines para el microcontrolador	31
Figura 12. Conexión del microcontrolador	33

Figura 13. Configuración de los pines del REF02	35
Figura 14. Circuito de conexión de la etapa de potencia para las válvulas	37
Figura 15. Circuito de aislamiento contra sobretensión y lazo de tierra	40
Figura 16. Circuito de conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C	41
Figura 17. Circuito de protección contra sobrevoltaje del cable serial	43
Figura 18. Circuito de regulación de voltaje DC de la tarjeta	45
Figura 19. Esquema del circuito impreso principal	51
Figura 20. Esquema del circuito impreso para el accionamiento de las válvulas	52
Figura 21. Esquema del circuito impreso de potencia DC	53
Figura 22. Secuencia lógica de ejecución del software dentro del microcontrolador	55
Figura 23. Asignación de pines para el microcontrolador	58
Figura 24. Gráfica en tiempo de una señal serial	61
Figura 25. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador	64

Figura 26. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación)	65
Figura 27. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación)	66
Figura 28. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación)	67
Figura 29. Apariencia típica de un archivo de historial	72
Figura 30. Secuencia de aparición de ventanas del programa de mando y supervisión	73
Figura 31. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW	75
Figura 32. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación)	76
Figura 33. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).	77
Figura 34. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación)	78
Figura 35. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación)	79

Figura 36. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación)	80
Figura 37. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW: Proceso de toma de datos para el historial	80
Figura 38. Pantalla de solicitud del nombre del historial	81
Figura 39. Pantalla principal del software de mando y supervisión	82
Figura 40. Pantalla típica de la etapa de burbujeo del software de mando y supervisión	83
Figura 41. Pantalla de visualización y configuración de intervalo del historial en el software	84
Figura 42. Pantalla de control de ejecución del programa de mando y supervisión	85
Figura 43. Solicitud de parámetros de simulación	86
Figura 44. Archivo de historial	89
Figura 45. Gráfica de historial en rango normal	90
Figura 46. Gráfica de historial con lectura fuera de rango	90
Figura A1. Ubicación de los transmisores de nivel en la planta de simulación	103

Figura A2. Ubicación de los controles de ajuste en los transmisores de nivel.	104
Figura B1. Extracto del código fuente en LabVIEW para la animación de la ventana de bienvenida.	106
Figura C1. Extracto del código fuente en LabVIEW para la inicialización del puerto serie.	107
Figura D1. Pines de la Interface RS-232C	108

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Instrucciones para la calibración del transmisor de nivel DELTA CONTROLS modelo 171	103
Anexo B. Código fuente para la animación de la ventana de bienvenida	104
Anexo C. Parámetros usados en la configuración del puerto serie	107
Anexo D. Estándar RS-232C	108
Anexo E. Lista de componentes electrónicos empleados en la tarjeta de adquisición y control	109

ADICIONALES EN MEDIO ÓPTICO

Anexo F Código fuente residente en el microcontrolador MOTOROLA MC68HC08GP32

MANUAL DE USUARIO DEL SOFTWARE DE MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS

TÍTULO: MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

AUTORES: DELGADO ALDANA, Mario Julián y RUIZ ESTUPIÑAN, Edgar Rodolfo **

PALABRAS CLAVES: Mando, Supervisión, Tarjeta de adquisición de datos, LabVIEW, Interfaz gráfica, Microcontrolador, Comunicación serial, Instrumentación.

DESCRIPCIÓN: Se presenta el diseño e implementación de un sistema de mando y supervisión a distancia para una planta piloto que simula condiciones de corrosión en gasoductos. Mediante este trabajo se simplifica el uso y se aumenta la seguridad en la planta al permitir el monitoreo y regulación manual del proceso desde un lugar alejado. También permite al usuario conocer condiciones de peligro como exceso de presión en los tanques o alta concentración de H₂S en la planta mediante alarmas sonoras y visuales.

El trabajo consta de una tarjeta de adquisición de datos / control construida específicamente para el presente sistema y una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW®. La tarjeta tiene 6 entradas análogas para la obtención de lecturas de presión, volumen y concentración de H₂S, y 17 salidas digitales para controlar 16 válvulas electro-neumáticas y una alarma sonora. La tarjeta tiene como núcleo un microcontrolador Motorola MC68HC908GP32 el cual incluye módulos necesarios como puertos de entrada/salida, conversión A/D y comunicación serial. La interfaz gráfica en LabVIEW es similar a la planta física real. Mediante el accionamiento de válvulas electro-neumáticas y el monitoreo de presiones y niveles de electrolito se mantienen las condiciones requeridas en las simulaciones. Además se implementó el proceso de almacenamiento de lecturas de los transmisores a través de un registro periódico automático a intervalos elegidos por el operario del sistema. La interfaz gráfica se comunica serialmente con la tarjeta de adquisición / control mediante el estándar RS-232C aprovechando que el sistema no requiere gran densidad de información, obteniéndose una drástica reducción en el cableado y complejidad de interconexión.

El trabajo incluye el manual de usuario del software. Se recomienda automatizar las válvulas reguladoras de presión y de descarga para minimizar aún más la presencia del operario en la planta de simulación.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Programa de Ingeniería Electrónica. Director: SIERRA BUENO, Daniel Alfonso. Codirector: MEZA PEÑARANDA, Marlong.

TITLE: OPERATION AND SUPERVISION OF A PILOT-SCALE SYSTEM TO CORROSION MEASURE IN GAS PIPELINES. DESIGN, CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION¹

AUTHORS: DELGADO ALDANA, Mario Julián and RUIZ ESTUPIÑAN, Edgar Rodolfo**

KEYWORDS: Operation, Supervision, Data acquisition card, LabVIEW, Graphical interface, Microcontroller, Serial Communication, Instrumentation.

ABSTRACT: It's presented design and implementation of a distant control and supervision system for a pilot-plant which simulates corrosion conditions in gas pipelines. Through this fieldwork plant use is simplified and security is increased allowing operation and manual regulation of process from a far away room. It also allows user to know danger conditions like pressure excess in tanks or high H₂S concentration in plant through sound and visual alarms.

This fieldwork consists of a data acquisition / control card built specifically for presented system, and a graphical interface fully developed in LabVIEW®. Card has 6 analog inputs for pressure, volume and H₂S concentration readings, and 17 digital outputs to control 16 electro-pneumatic valves and one sound alarm. Card's core is Motorola MC68HC908GP32 microcontroller which includes many necessary modules like input/output ports, A/D converter and serial communication ones. Graphical interface designed in LabVIEW is similar to real physic one. Through electro-pneumatic valve activation/deactivation and pressure and electrolyte levels monitoring physical conditions required in plant's simulation are maintained. Transmitter readings storage was also implemented through automatic, periodic record in system's operator selectable intervals. Graphical interface serially communicates with data acquisition / control card by RS-232C standard taking advantage of fact that system doesn't require high information flow, obtaining drastic reduction in wiring and implementation complexity.

Fieldwork includes software user's manual. It's recommended to automate pressure-regulating and discharge valves to even more minimize simulation plant operator's presence.

¹ Degree Fieldwork.

** Physics-Mechanics Engineering Faculty, Electronics Engineering. Director: SIERRA BUENO, Daniel Alfonso. Co director: MEZA PEÑARANDA, Marlong.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto es la segunda etapa de uno más general, titulado ***“Diseño de un programa operativo (campo-laboratorio) para el control de la corrosión interna de los gasoductos”***, el cual fue patrocinado al igual que este trabajo con aportes de Colciencias, Ecogas y el CIG. El proyecto marco consta de varias etapas de desarrollo, la primera de ellas consistió en el diseño y montaje del sistema de tanques, a cargo de Zamir Centanaro y Dairo Ballestas como trabajo de grado de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS.

La presente etapa corresponde a la implementación del sistema de supervisión y mando a distancia de la planta de simulación de corrosión mediante un sistema electrónico controlado por computador, el cual fue necesario debido a las condiciones riesgosas que representan, tanto de alta presión como de toxicidad del gas empleado en el campo.

A través de este sistema se aumentó la seguridad de la planta piloto, al permitir el monitoreo y regulación manual del proceso desde un lugar distante y seguro para el operario (sala de control), evitando la presencia de personas en el lugar donde se encuentran los tanques presurizados. También le permite al usuario conocer condiciones de peligro el como exceso de presión en los tanques o la alta concentración de sulfuro de hidrógeno (H_2S) utilizado en las pruebas, mediante alarmas sonoras y visuales. Permite como características adicionales el inicio y terminación temporizada del proceso de burbujeo (primera etapa del proceso de simulación), y automatización del proceso de toma de valores de los transmisores a través de un registro periódico a intervalos elegidos por el operario del sistema.

El presente informe comienza con una descripción de las características de la planta de simulación de corrosión con la que se disponía al momento de iniciar el proyecto. En el capítulo dos, se detallarán los componentes electrónicos empleados, mostrando los circuitos implementados. En el siguiente capítulo se presenta el software diseñado para el control del sistema, tanto del programa residente en el microcontrolador ubicado en la tarjeta de adquisición y control, como el desarrollado en LabVIEW que provee una interfaz gráfica para el proceso y que se ejecuta en el computador de la sala de control.

El proyecto además pretende fortalecer los lazos de cooperación entre la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E³T) representada por el Grupo de Investigación CEMOS y la de Ingeniería de Petróleos a través del CIG.

1. PLANTA DE SIMULACIÓN DE CORROSIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN

En la planta física montada en la fase inicial del ***“Diseño de un programa operativo (campo-laboratorio) para el control de la corrosión interna de los gasoductos”*** se tienen tres tanques de material inoxidable llamados mezcla, autoclave y alivio como se muestra en la figura 1, los cuales están interconectados mediante un sistema de tubería y válvulas electro-neumáticas. Todo el montaje contendrá una mezcla corrosiva de $H_2O/H_2S/CO_2$ en condiciones que simularán las existentes en gasoductos y cuyo nivel y flujo se controla por la diferencia de presión entre los tanques.

Los instrumentos importantes para el monitoreo, medición y control del nivel y del flujo son: tres transmisores de presión, cada uno ubicado en un tanque; dos transmisores de nivel de fluido mediante sonda capacitiva colocados tanto en el tanque de mezcla como en el de alivio; un transmisor de concentración de H_2S cercano a la planta y finalmente dieciséis válvulas electro-neumáticas *ON/OFF*. La figura 1 muestra un esquema de la planta.

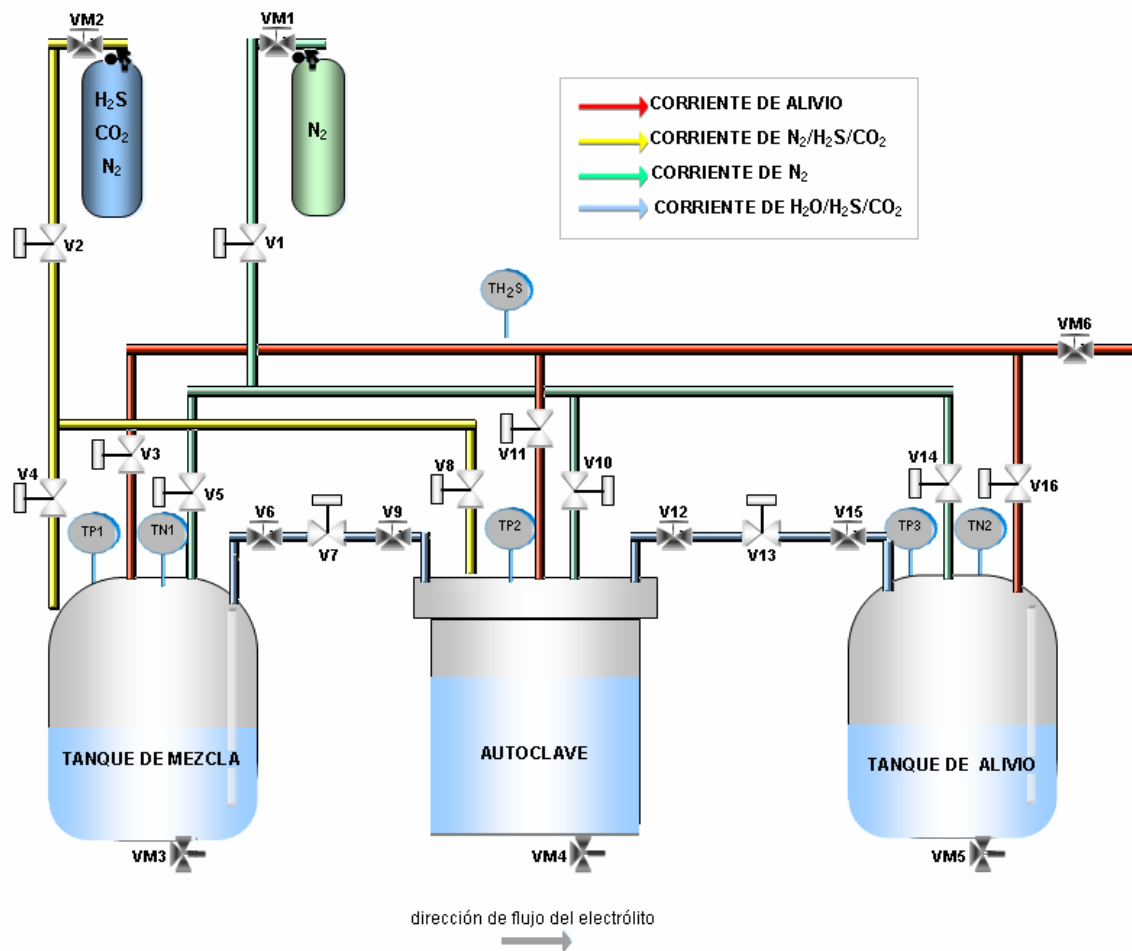


Figura 1. Esquema de la planta física de simulación. Fuente: Autores

Como componentes redundantes se cuenta con válvulas de seguridad en cada tanque, también cerca de cada transmisor de presión está un manómetro análogo para obtener una lectura inmediata dentro de la planta. Un accesorio útil durante las pruebas de corrosión es un rotámetro que permite medir el flujo de gas hacia el tanque de mezcla durante la operación del sistema.

Tabla 1. Nomenclatura empleada en la planta física de simulación.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
V1 a V16²	Válvulas electro-neumáticas de alta presión
VM1 a VM2	Reguladores de presión
VM3 a VM5	Válvulas manuales para desagüe
VM6	Válvula manual de alivio
TP1 a TP2	Transmisor digital de presión
TN1 a TN2	Transmisores de nivel capacitivos
TH2S	Transmisor de concentración de H ₂ S

1.2 ESPECIFICACIONES

En la tabla 2 se presenta un resumen de las especificaciones de los componentes del sistema para simular ambientes corrosivos a alta presión.

Tabla 2. Especificaciones de la Planta de simulación (general).

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN
TUBERÍA	¼ in, en material 316L
CAUDAL	≈ 0.4 l/h
FLUIDO	Agua + mezcla gaseosa CO ₂ /H ₂ S presurizada con N ₂ (electrolito corrosivo)
PRESIÓN MÁXIMA DE DISEÑO	2000 PSI

Para el caso de los tanques se tiene:

² Aunque en el diseño original se planeaba dejar las válvulas V6, V9, V12 y V15 para operación manual, finalmente se emplearon electro-neumáticas.

Tabla 3. Especificaciones de cada uno de los tanques en la planta.

	TANQUE DE MEZCLA	AUTOCLAVE	TANQUE DE ALIVIO
P_{Diseño} (PSI)	2500	2500	2500
P_{Trabajo} (PSI)	500 – 1500	500 – 1200	500 – 1500
Vol_{máx.} (ml)	2500	2500	2500
MATERIAL	316L	Hastelloy C276	316L
USO	Permitirá el burbujeo y almacenamiento del electrolito para la prueba, así como el paso del electrolito hacia el autoclave.	Se empleará para pruebas gravimétricas y electroquímicas sobre metales.	Almacenará el electrolito contaminado proveniente del autoclave.
TRANSMISOR	Presión: Rosemount modelo 3051S Volumen: marca Delta Controls Corp. Modelo 171	Presión: Rosemount modelo 3051S	Presión: Rosemount modelo 3051S Volumen: marca Delta Controls Corp. Modelo 171

1.3 INSTRUMENTOS MONTADOS EN LA PLANTA FÍSICA

1.3.1 Transmisores:

Los transmisores son los componentes esenciales para medir las variables que se van a supervisar: presión, volumen de electrolito y concentración de gas; los transmisores están compuestos por un sensor que convierte la variable física a medir en una magnitud eléctrica proporcional. A partir de ésta y mediante circuitos electrónicos, se adecua la señal de forma que la salida sea una corriente en el rango de 4 a 20 mA.

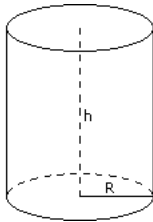
1.3.1.1 Transmisores de presión: Los tres transmisores marca Rosemount montados uno en cada tanque, emplean un sensor de tipo capacitivo para medir la presión existente en el tanque al cual está conectado, dentro del rango de 0 a 2000 PSI para el cual fueron diseñados.

Tabla 4. Especificaciones sensor/transmisor inteligente de presión ^[9].

REFERENCIA	ROSEMOUNT modelo 3051S
EXACTITUD	+/- 0.065%
MATERIAL	Hastelloy C-276
SALIDA	Hart 4 – 20 mA
LÍMITES DE HUMEDAD	0 -100% de humedad relativa
TIEMPO DE RESPUESTA	< 1 ns
LÍMITES DE TEMPERATURA	-20 a 80°C (-40 a 185°F)
GARANTÍA DE ESTABILIDAD	5 Años
IMPEDANCIA DE LOOP	< 25 Ω

1.3.1.2 Transmisores de volumen: Para la medición del volumen de electrolito presente en los tanques se emplearon transmisores de nivel aprovechando la proporcionalidad existente entre el volumen y el nivel (Fig. 2); esta proporcionalidad se puede verificar como sigue:

$$V = \pi R^2 h \quad \text{Ec. 1}$$



h: altura o nivel del tanque que es sentido por el transmisor.

R: radio del tanque, el cual es constante ya que los tanques son cilindros rectos.

Figura 2. Parámetros para calcular el volumen en un tanque. Fuente: Autores

Dado que tanto π como R son constantes, se comprueba la proporcionalidad mediante la expresión:

$$V = k h \quad \text{Ec. 2}$$

El transmisor de nivel seleccionado utiliza tecnología de admitancia para medir cuánto de su sonda de medición es cubierta por un líquido. Esto se logra generando un pulso de energía de radiofrecuencia, el cual viaja desde la sonda de medición hasta el punto de referencia (usualmente la pared del tanque). La cantidad de líquido entre los dos determina cuánta energía es transferida. La energía que fluye es una medida altamente reproducible del nivel del líquido o la posición de la interfaz. La cantidad es integrada y usada para producir una señal DC de 4 a 20 mA ^[8].

Tabla 5. Especificaciones transmisor de nivel tipo sonda capacitiva [8].

REFERENCIA	DELTA CONTROLS, Modelo 171
SEÑAL DE SALIDA	Rango 4-20 mA DC.
LÍMITES DE CORRIENTE	3.5 a 22.3 mA de DC.
VOLTAJE	13-35 V de DC.
IMPEDANCIA MÁXIMA	550 Ω a 24V; 1.1K Ω a 35V.
TEMPERATURA	-40 a 80°C.
SISTEMA DE CIRCUITOS	Análogo, estado sólido, tipo admitancia
RANGO DE NIVEL	Dependiendo de la sonda seleccionada

1.3.1.3 Transmisor de concentración de H₂S: El H₂S (Sulfuro de hidrógeno) es un gas muy venenoso que puede ser detectado por su olor a concentraciones menores de 1 ppm, pero en exposiciones prolongadas produce un acostumbamiento del olfato, por lo que no se puede confiar en el olor como señal de alarma, esto hace que en el sistema diseñado sea necesario tener un sensor que pueda determinar la concentración de H₂S cerca de la planta.

El transmisor de concentración de H₂S seleccionado no necesita mantenimiento y además cuenta con un contador integrado de tiempo que advierte de la necesidad de reemplazo de la unidad después de 2 años de operación.

Tabla 6. Especificaciones Transmisor de H₂S [6].

REFERENCIA	BW TECHNOLOGIES ref. R RJ-RH04
SALIDA ANÁLOGA	4-20 Ma
RANGO DE MEDIDA	0-100 ppm
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	-40 a 50°C
HUMEDAD DE OPERACIÓN	15 a 90% de humedad relativa
CALIBRACIÓN	No requerida, de fabrica
ALARMA VISUAL	Luz roja emitida por diodo (LED)
TIPO DE SENSOR	Sensor electroquímico de H ₂ S
PESO	175 g
VOLTAJE DE SUMINISTRO	10 a 28 VDC (24 VDC nominal)
RESISTENCIA DEL LOOP	650 Ω máximo

1.3.2 Válvulas de control electro-neumáticas *ON/OFF*:

Estas son los elementos de control, las cuales manejan los flujos para mantener en los rangos de operación las variables que se deben controlar. Al ser *ON/OFF* se debe entender que estas o permiten el flujo total de presión a través del aparato o lo corta del todo, no permitiendo un control proporcional de presión.

Este dispositivo está compuesto por cuatro partes básicas:

- Bobina Magnética
- Válvula Neumática
- Red Neumática
- Actuador Giratorio

1.3.2.1 Bobina Magnética: Este es el componente principal de control desde el punto de vista del sistema electrónico que se implementó, pues ésta recibe la señal de tensión que finalmente activa o desactiva la válvula neumática.

Tabla 7. Especificaciones bobina magnética ^[11].

REFERENCIA	FESTO ref. MSFG-24DC/42AC 4527
TENSIÓN NOMINAL	24V DC, 42V AC
POTENCIA	4.5W

1.3.2.2 Válvula Neumática: Su función es permitir o bloquear la circulación de aire comprimido a baja presión (50 PSI) proveniente de un compresor. Es activada por la bobina magnética.

Tabla 8. Especificaciones válvula neumática ^[11].

REFERENCIA	FESTO ref. 10348 MFH-5-1/8 S
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN	145 PSI
PRESIÓN MÍNIMA DE OPERACIÓN	17 PSI
ACCIONAMIENTO AUXILIAR	Manual Rotativo / con enclavamiento
TIEMPO DE RESPUESTA ON	10 ms
TIEMPO DE RESPUESTA OFF	40 ms
FORMA ELEMENTO FUNCIONAL	Émbolo / plato

1.3.2.3 Red Neumática: Como las válvulas neumáticas necesitan una fuente de aire comprimido para operar, esta se construyó con un compresor de 1.5 HP capaz de generar una presión de hasta 120 PSI, una unidad de filtrado en la toma de aire, conexiones en tubería galvanizada de ½”, además consta de conexiones en manguera de 6 mm con las válvulas.

1.3.2.4 Actuator Giratorio: Es el dispositivo que finalmente corta el flujo de electrolito a alta presión (1500 PSI máximo) entre los tanques a partir de la presión de control menor proveniente de la red neumática.

Tabla 9. Especificaciones actuador giratorio.

REFERENCIA	FESTO ref. DRD-1-F03
PRESIÓN DEL FLUIDO DE CONTROL	36 – 145 PSI
TIPO DE FLUIDO	Aire comprimido seco, filtrado
MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN	3000 PSI
TEMPERATURA	-20 a 80 °C
PESO DE PRODUCTO	0.3 Kg
MATERIAL TUBO/CUERPO	Aluminio
MATERIAL JUNTAS	Elastómero - NBR
REVESTIMIENTO TUBO/CUERPO	Anodizado
ANGULO DE GIRO NOMINAL	90°

1.3.3 Válvulas de seguridad:

Tiene como función evitar que la presión de los tanques supere una presión determinada según la calibración de un diafragma situado dentro del cuerpo del dispositivo.

Tabla 10. Especificaciones de las válvulas de seguridad.

REFERENCIA	SWAGELOK, válvula de seguridad no desechable
MATERIAL	Acero inoxidable 316 L
PRESIÓN DE ACTIVACIÓN	> 1500 PSI

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS

A continuación se presenta toda la información del sistema de mando de una planta que permite simular ambientes corrosivos presentes en gasoductos.

El sistema diseñado (Fig.3), construido e implementado tiene las siguientes características:

- **Interfaz amigable:** La aplicación posee una Interfaz grafica muy intuitiva, que facilita al usuario la visualización de los transmisores y las válvulas que forman parte de la planta.
- **Alertas auditivas y visuales** en caso de lecturas fuera del rango establecido por el operario: De esta manera se da la oportunidad al usuario de rectificar las presiones o niveles del electrolito presente en los tanques a tiempo; evitando cancelar una prueba.
- **Alta Inmunidad a la interferencia electromagnética:** Gracias a que la caja que contiene el circuito es metálico y a que la comunicación entre la planta física y el PC se hace por medio de comunicación digital serial.
- **Alta durabilidad:** Sin componentes móviles o mecánicos, se evitó emplear relés electromecánicos para activar las válvulas, en reemplazo se usaron transistores que tienen una durabilidad y confiabilidad mucho mayor.

Para facilitar la presentación del proyecto se estudiarán por separado el hardware y el software constitutivos del sistema.

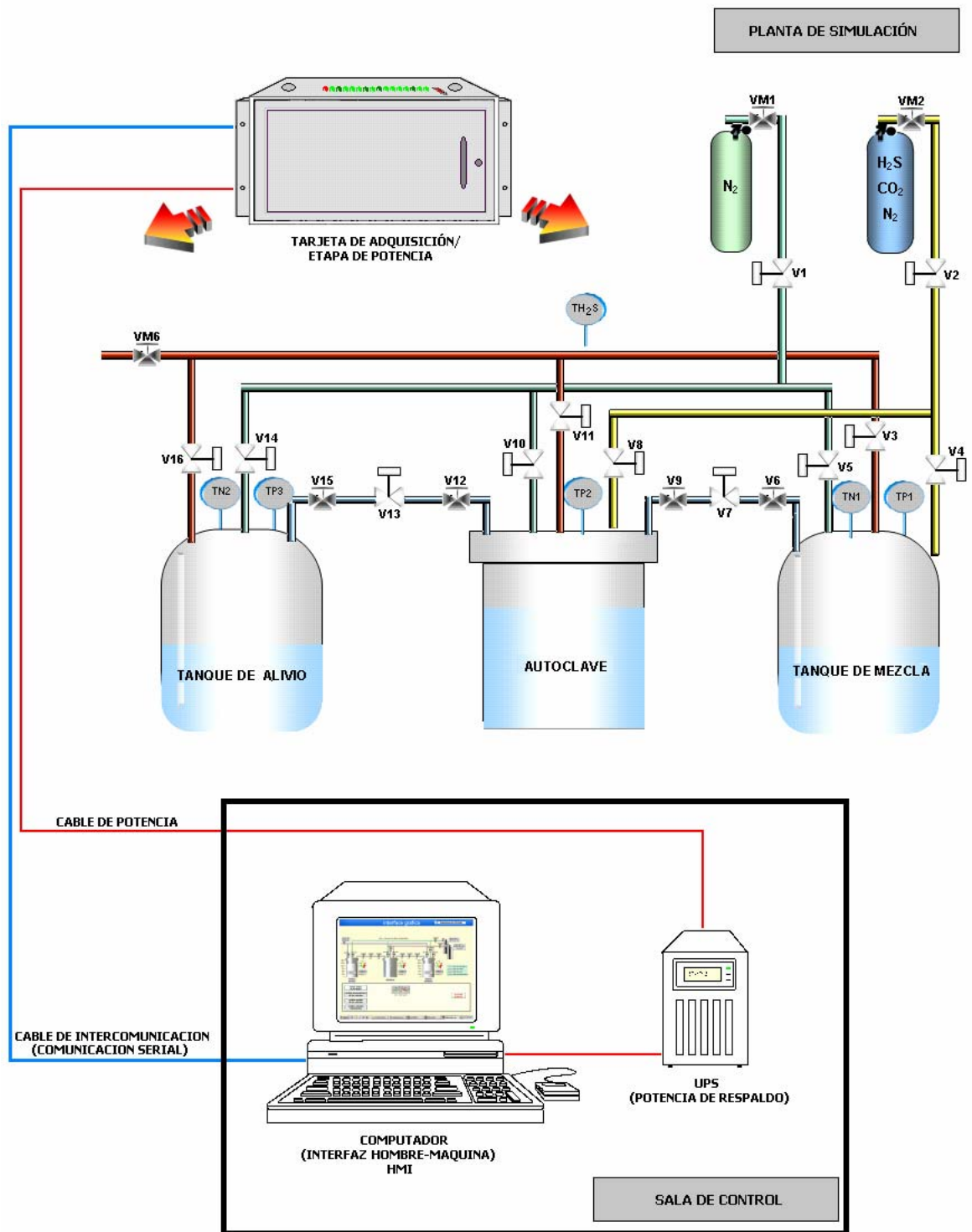


Figura 3. Esquema físico del sistema de mando y supervisión. Fuente: Autores

2. HARDWARE

Está constituido por los elementos electrónicos necesarios para el control físico de la planta de simulación, siendo representado por la tarjeta de adquisición y control.

El sistema de adquisición de datos tiene como núcleo un microcontrolador Motorola MC68HC08GP32, el cual contiene internamente un conversor análogo-digital de 8 bits y un bloque de comunicación serial RS-232C. Además de este componente, se emplean circuitos de conversión corriente a voltaje de las señales recibidas de los transmisores de presión, nivel y concentración de H₂S.

Las funciones de esta tarjeta son:

- Convertir la naturaleza análoga de las señales medidas por los transmisores de instrumentación (corrientes entre 4-20mA) a señales digitales y enviarlas al PC para su análisis, supervisión, y almacenamiento en un archivo de historial. Además advertir de la posible desconexión de un transmisor.
- Servir de etapa de potencia por medio de transistores para el control de las válvulas electro-neumáticas, las cuales serán el medio de mantener la planta en operación.

Las funciones de la tarjeta se coordinan mediante la interfaz humano-maquina residente en el computador que está localizado en una sala de control separada de la planta propiamente dicha.

2.1 DIVISIÓN EN BLOQUES DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE MANDO Y SUPERVISIÓN

El sistema de adquisición de datos está constituido por un microcontrolador, un conversor corriente a voltaje, una etapa de potencia para el accionamiento de las válvulas, y protecciones contra sobretensión; todo lo anterior comunicado al software de supervisión por el formato de comunicación RS-232C.

En la figura 4 se muestran las etapas constitutivas de la tarjeta electrónica diseñada para el proyecto y entre paréntesis el componente representativo de la etapa, las flechas de color negro indican el flujo de la información o datos, las flechas de color gris son las conexiones de alimentación o fuentes de poder, y la línea punteada la división entre la planta de simulación y la sala de control.

2.2 BLOQUES REPRESENTATIVOS

- **Conversor corriente a voltaje:** Se tiene esta etapa por cada transmisor, convierte la corriente proveniente de los transmisores a un voltaje proporcional.
- **Conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C para la comunicación serial:** Es la interfaz eléctrica entre la tensión de operación del microcontrolador y la del estándar serial RS-232C.
- **Control lógico de la tarjeta:** Realiza la secuencia de operación de la tarjeta y se comunica con el computador.

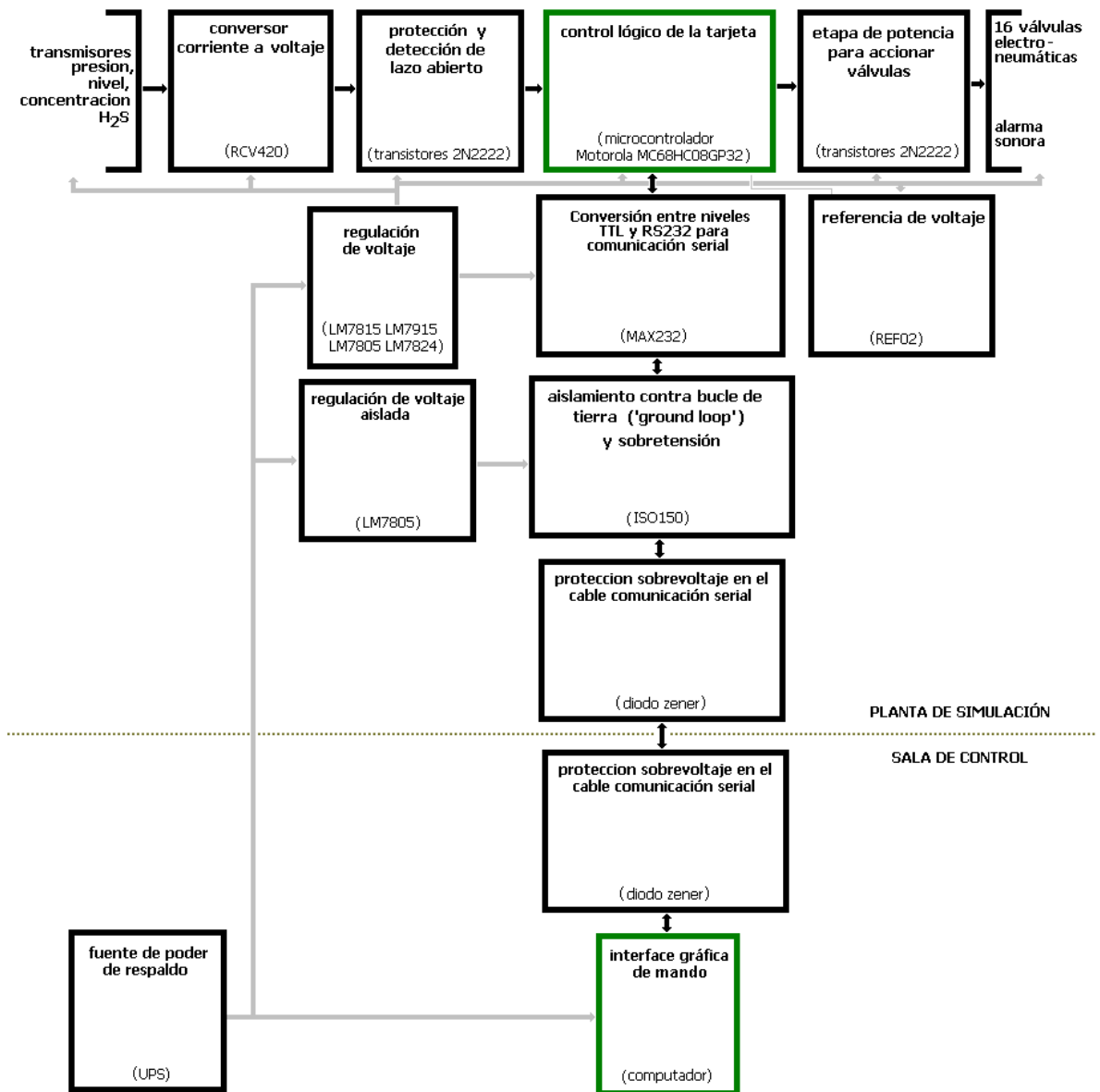


Figura 4. División en bloques de la tarjeta de interfaz / control. Fuente: Autores

- **Potencia para el accionamiento de las válvulas:** Se repite 16 veces para controlar todas las válvulas, mas una para una alarma sonora.
- **Interfaz gráfica de usuario:** Representada por el software instalado en el computador de la sala de control.

2.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS BLOQUES DE LA TARJETA

2.3.1 Conversor corriente a voltaje:

Esta es la primera etapa necesaria para la captura de la información proveniente de la planta. Los transmisores de presión, nivel, y concentración de H₂S se alimentan a 24VDC que se suministran del bloque de regulación de voltaje, estos responden con una corriente entre 4-20 mA DC según la magnitud de la variable física medida. Una salida de 4 mA representará el límite inferior del rango, y una de 20 mA, el límite superior. La señal de salida se transmite a través de la misma línea que alimenta al transmisor -lazo de corriente-, como se muestra en la figura 5.

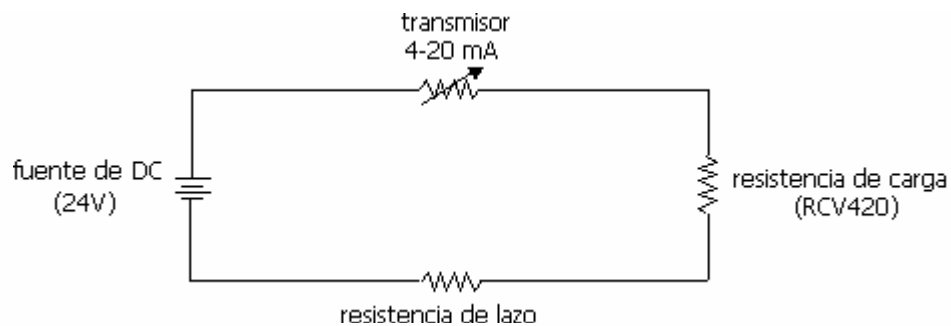


Figura 5. Modelo básico del circuito eléctrico de un transmisor de instrumentación. Fuente: Autores

Para el cableado entre los transmisores y esta etapa se emplean cables trenzados (Entorchados), con conductor de cobre calibre 18 AWG, aislamiento PVC, con

apantallado de aluminio. La pantalla se aterriza solamente en un terminal para proveer un sistema sin lazo de tierra (*ground loop*)³.

El circuito electrónico del conversor corriente a voltaje está diseñado a partir del receptor de lazo de corriente RCV420 de la compañía BURR-BROWN que convierte una señal de instrumentación entre 4-20mA a un voltaje linealmente proporcional entre 0-5V adecuado para ser digitalizado por el microcontrolador. Este chip presenta la conveniencia de tener el circuito operacional de conversión corriente a voltaje y referencia de voltaje calibrada de fábrica además de compensación por efectos de temperatura, lo que resulta en una alta exactitud de conversión. Como característica adicional se tiene que soporta corriente de corto circuito en su salida sin sufrir daño.

A continuación se listan las principales características del RCV420^[4]:

- Conversión completa 4 – 20 mA a 0 – 5V.
- Referencia interna de precisión de 10V.
- ±40V de entrada en modo común.
- Exactitud de conversión típica del 0.1%.
- Alta inmunidad al ruido: 86dB en modo común.

Para una salida de 0 a 5V a partir de la entrada de 4–20mA, la transimpedancia del circuito debe ser:

$$V_{OUT} / I_{IN} = 5V/16mA = 0.3125V/mA. \quad \text{Ec. 3}$$

Lo que significa que por cada mA a la entrada se medirá a la salida una variación de 0.3125V. Para obtener la salida deseada (0V para 4mA y 5V para 20mA), la salida del amplificador debe tener un offset de la magnitud de la Ec. 4:

³ El efecto de lazo de tierra se explica en el glosario.

$$V_{OS} = -(4\text{mA})(0.3125\text{V/mA}) = -1.25\text{V}. \quad \text{Ec. 4}$$

El diagrama de conexión empleado (Fig. 6) es el recomendado por el fabricante, se tuvo en cuenta la recomendación de conectar condensadores de tantalio de $1\mu\text{F}$ lo más cerca del circuito integrado en los pines de entrada de alimentación dual de $\pm 15\text{VDC}$.

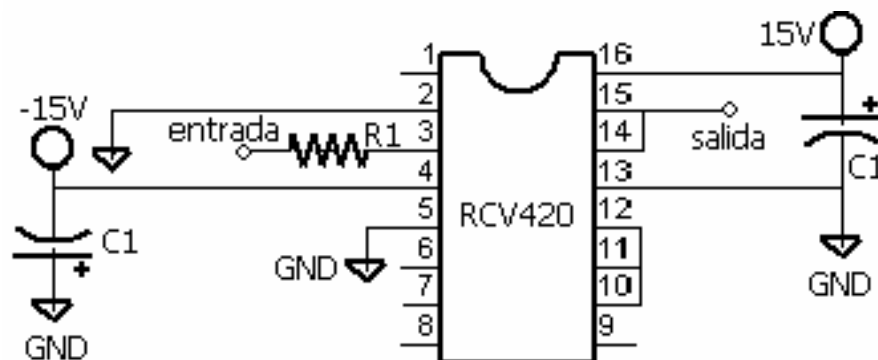


Figura 6. Circuito del convertor corriente a voltaje. Fuente: Hoja de datos del fabricante

Mediante la ecuación 3 mostrada en el manual del fabricante se halla la resistencia limitadora $R1$ mínima que sirve para evitar una sobrecorriente a la entrada del RCV420 en caso de cortocircuito en las terminales del transmisor y que además actúa como resistencia de lazo.

$$R1_{\text{mínima}} = 24\text{V}/40\text{mA} - 75\Omega = 525\Omega \quad \text{Ec. 5}$$

Donde 24V es el valor de la alimentación de los transmisores, 40 mA es la corriente continua máxima soportada por el RCV420 y 75Ω es la resistencia interna de la entrada del integrado.

El valor recién hallado debe también estar dentro del rango recomendado para cada transmisor:

Resistencia mínima para el transmisor de presión: 250Ω

Resistencia máxima para el transmisor de nivel: 550Ω

Resistencia máxima para el transmisor de concentración de H_2S : 650Ω

La resistencia de 525Ω no está disponible comercialmente, de modo que se conectaron en serie resistencias de 510Ω y 20Ω para obtener un valor de 530Ω

Tabla 11. Lista de componentes del conversor corriente a voltaje.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
RCV420	Conversor lazo de corriente a voltaje
R1	Resistencia de lazo $(510+20)\Omega$, 1/4W
C1	Condensador de tantalio $1\mu F$ 25V

2.3.2 Protección y detección de lazo abierto:

Esta etapa fue necesaria debido a que los voltajes provenientes del bloque conversor corriente a voltaje pueden salirse del rango máximo admitido a la entrada del conversor análogo/digital del microcontrolador.

En operación correcta los voltajes presentes en la salida del circuito integrado RCV420 están entre 0 y 5V, pero si hay lazo abierto o hay un cortocircuito a la entrada del mismo los voltajes generados saldrán de este rango. Para el caso particular de lazo abierto será de -1.2V, que servirá de aviso de que el transmisor no está conectado correctamente en la planta, pero podría dañar el módulo ADC del microcontrolador, pues es mucho más negativo que el máximo recomendado ^[14].

Teniendo en cuenta esto se diseñaron dos diferentes circuitos: uno para evitar que un voltaje fuera de rango llegue al bloque ADC del microcontrolador, y otro para convertir el voltaje de -1.2V a otro no negativo para llevarlo a un pin del micro, que permita la detección de este error (lazo abierto).

2.3.2.1 Circuito limitador de voltaje: Este circuito (Fig. 7) se interpone entre cada una de las salidas de los conversores corriente a voltaje y las entradas disponibles para la digitalización de la señal (módulo ADC del microcontrolador).

Tabla 12. Lista de componentes del limitador de voltaje.

COMPONENTE	EQUIV. ECG	DESCRIPCIÓN
R		Resistencia 10Ω , 1/4W
D1	109	Diodo Ge 1N34, propósito general, 100PRV
D2	5010A	Diodo zener BZX55C5V1, 5.1V, 0.5W

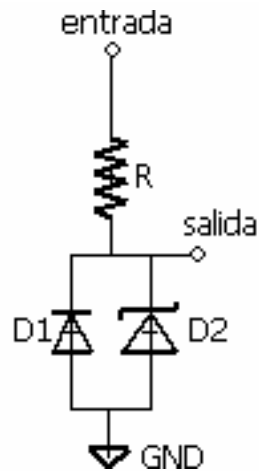


Figura 7. Circuito limitador de voltaje. Fuente: Autores

Este montaje se asemeja a un divisor de voltaje donde una de las resistencias se cambio por un diodo de germanio y un zener en paralelo.

Se analizará la operación en los tres casos posibles:

- Voltaje de entrada en el rango 0-5V: D1 está polarizado inversamente y D2 tiene en sus terminales un voltaje menor a 5.1, entonces los diodos se pueden representar por resistencias de muy alto valor de lo que se obtiene que el voltaje en la salida es igual al de la entrada⁴.
- Voltaje de entrada mayor a 5V: D1 está polarizado inversamente (alto valor de resistencia), pero D2 podrá empezar a operar, lo que conlleva a que el voltaje que supere la barrera de 5.1V sea absorbido por R, evitando que llegue a la salida del circuito.
- Voltaje de entrada negativo: Se espera cuando algún transmisor de instrumentación esté desconectado de su respectiva entrada; tanto D1 como D2 estarán polarizados directamente y se medirá un voltaje de salida de -0.3V debido principalmente a la pequeña caída de voltaje típica de un diodo de germanio (si se empleara un diodo de silicio sería de 0.7V), voltaje que aunque negativo al llegar a un pin del microcontrolador no conlleva daño según la hoja de datos.

2.3.2.2 Circuito de detección de lazo abierto: Dispone de seis entradas correspondientes a la señal de voltaje de salida de los integrados RCV420 previamente descritos, se activará cuando en alguna entrada exista un voltaje cercano a -1V, conmutando su salida de 0 a 5V, e inyectándola a una patilla del microcontrolador (ver Fig. 8).

⁴ En la práctica es un poco menor (caída de casi 2mV), debido mayormente a la resistencia de carga del ADC, pero en todo caso es despreciable frente a la resolución de conversión de la próxima etapa que es de $5/256 = 20\text{mV}$.

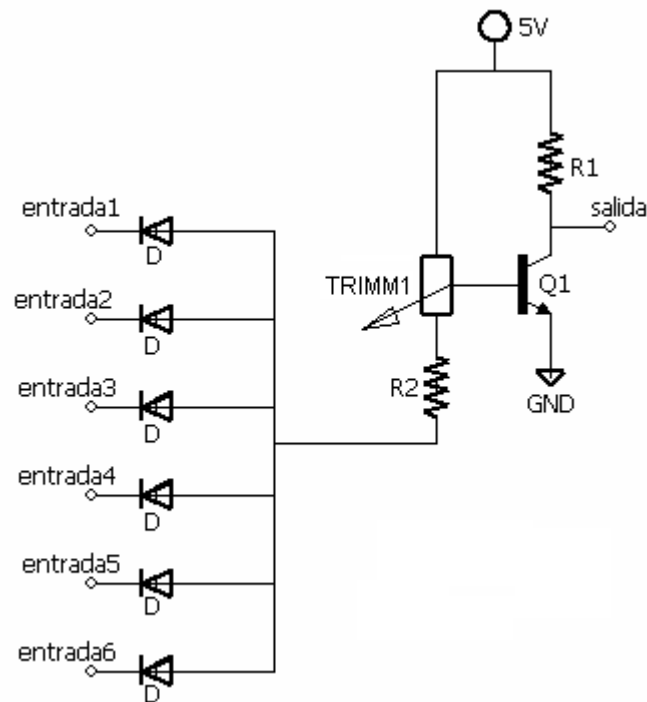


Figura 8. Circuito de detección de lazo abierto. Fuente: Autores

Los seis diodos de germanio D en cada una de las entradas conforman una compuerta OR que conducen solo en caso que el ánodo sea 0.3V mayor que su respectivo cátodo (entrada1 a entrada6), y gracias a que están en contrafase entre entradas no se interferirán una con la otra. Con esta compuerta se logra reducir la cantidad de componentes empleados, pues se construyó este bloque completo una vez, no las seis que se necesitarían sin la compuerta.

Seguido a la compuerta está un transistor que ajustado mediante el trimmer y R2 se hace operar en la zona de corte o saturación (operación digital o como interruptor) dependiendo de que alguna entrada sea de -1.2V o no.

Tabla 13. Lista de componentes del circuito conversor de voltaje.

COMPONENTE	EQUIV. ECG	DESCRIPCIÓN
R1		Resistencia $8K\Omega$, 1/4W
R2		Resistencia 100Ω , 1/4W
TRIMM1		Trimmer $5K\Omega$
D	109	Diodo Ge 1N34, propósito general, 100PRV
Q1	123A	Transistor de Silicio 2N2222, NPN

Operación en saturación: Cuando ningún diodo D está polarizado directamente (sin lazo abierto en algún transmisor) Q1 se mantendrá en saturación, ya que no habrá corriente a través de R2; llegando una corriente directa de polarización entre Base-Emisor proveniente del trimmer (Fig. 9).

Una forma práctica de garantizar que Q1 esté saturado es inyectar una corriente en la base mayor a dos veces I_C/β , donde:

I_C = corriente a través del colector.

β = ganancia del transistor (h_{FE}).

I_C se puede calcular a partir de la corriente por R1; despreciando el efecto de carga a la salida que corresponde a la corriente a través del pin del microcontrolador (según la hoja de datos sería máximo de $1\mu A$) y la caída de voltaje en la juntura C-E que es de 0.2V para saturación, tendríamos $I_C = 5V/8K\Omega = 0.6mA$

Tabla 14. Parámetros del transistor 2N2222.

Referencia	Equivalente ECG	BV_{CB0}	BV_{CE0}	BV_{EB0}	I_C	f_T	h_{FE}
2N2222	123A	75V	40V	6V	0.8A	300MHz	200 típico

Se tabularon algunos parámetros del transistor conseguidos de un ECG⁵: en la tabla 14 se encuentra que los parámetros BV_{CB0} y BV_{CE0} no son problema en el presente diseño pues estas tensiones no se encuentran en ningún punto del circuito, el voltaje BV_{EB0} no se alcanza en la unión base-emisor del transistor pues a través del trimmer solo están disponibles 5V; tampoco existe problema en cuanto a degradación de la ganancia pues la frecuencia de cambio entre corte y saturación está lejos del orden de MHz, se encuentra que la ganancia es 200.

Entonces se debe aplicar a la base del transistor una $I_B > 2(0.6mA/200) = 6\mu A$, esta corriente se puede garantizar dentro de cualquier valor del trimmer, que hasta en el peor caso (mayor resistencia = $5K\Omega$) sería de 1mA.

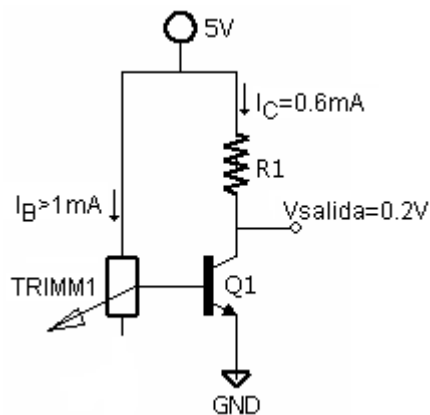


Figura 9. Operación en saturación del circuito conversor de voltaje. Fuente: Autores

⁵ Las nomenclaturas de la tabla se explican en el glosario.

Operación en corte: Cuando algún diodo presente condiciones de polarización directa (desconexión de algún transmisor), se tendrán a la entrada $-1.2V$ que con el divisor de voltaje representado por $R2$ y la calibración correcta del trimmer harán que $Q1$ pase a región de corte haciendo que el voltaje de salida cambie a $5V$ (Fig. 10), indicando este cambio de condición al bloque electrónico siguiente correspondiente al microcontrolador.

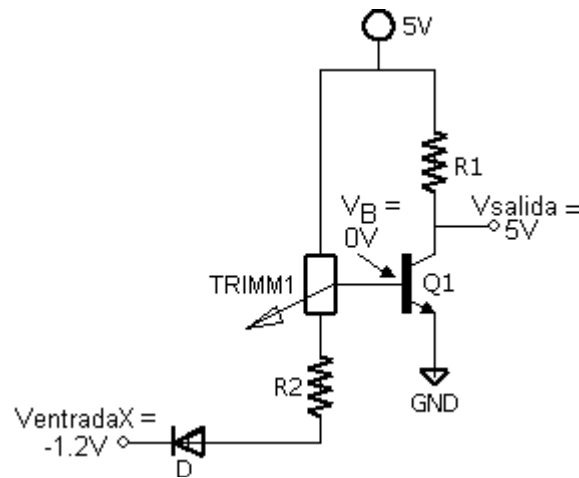


Figura 10. Operación en corte del circuito convertidor de voltaje. Fuente: Autores

Para que el transistor se mantenga en corte basta con hacer que la juntura Base-Emisor esté polarizada con un voltaje menor a $0.5V$, de esta forma la corriente por la unión será tan pequeña que puede ser considerada como una polarización inversa, condición definida como de corte, así se tiene que $I_B = 0$, $I_E = 0$, $I_C = 0$ y finalmente $V_C = V_{salida} = 5V$

En el circuito implementado se aplica el potencial de tierra a la base de $Q1$ para asegurar que no haya flujo de corriente a través de la base del transistor; esto se calculó en dos pasos:

1. Se halla la corriente por la malla formada por el trimmer y R2: los voltajes disponibles en cada extremo son 5V y -0.9V (se resta la caída de 0.3V en D) y la resistencia total es de $5K\Omega + 100\Omega$, así que resulta:

$$\text{Corriente} = 5.9V / 5100\Omega = 1.2mA \quad \text{Ec. 6}$$

2. Ahora se busca la posición dentro del rango del trimmer que tenga una resistencia suficiente para una caída de voltaje de 5V, logrando así que en la base del transistor se midan cero voltios:

$$\text{Resistencia}_{\text{trimmer}} = 5V / 1.2mA = 4322\Omega \quad \text{Ec. 7}$$

Finalmente el valor de resistencia encontrado se ajusta mediante un óhmetro entre el terminal del extremo superior y el medio del trimmer.

2.3.3 Control lógico de la tarjeta:

Está representado por el microcontrolador, el cual se encarga de coordinar la secuencia de operación de la tarjeta:

- Recepción serial del estado deseado de las válvulas y la alarma sonora
- Activación de las válvulas según la información anterior
- Digitalización la señal proveniente de los transmisores
- Envío de la señal digitalizada al PC a través del módulo de transmisión serial

Esta secuencia se repetirá indefinidamente mientras se tenga el sistema encendido, una explicación más detallada del proceso se hará en la sección de software del sistema.

2.3.3.1 Descripción del microcontrolador MC68HC908GP32: El modelo MC68HC908GP32 es parte de la familia de unidades de microcontrolador (MCUs) M68HC08 con características comunes como bajo costo y alto desempeño. Todas las MCUs de la familia usan la unidad central de proceso mejorada CPU08 y están disponibles con variedad de módulos, tamaños y tipos de memoria ^[14].

2.3.3.2 Características útiles del modelo MC68HC908GP32:

- 4 puertos de entrada/salida de 8 bits máximo cada uno: PortA, PortB, PortC y PortD
- Frecuencia interna máxima del bus a 8 MHz
- Pin de reset y reset-al-encendido (POR)
- Módulo de comunicación serie (SCI)
- Conversor análogo a digital de 8 canales y 8 bits por aproximación sucesiva (ADC)
- Características específicas del MC68HC908GP32 para el empaque de 40 pines:
 - PortC tiene solo 5 bits: PTC0–PTC4
 - PortD es de 6 bits: PTD0–PTD5;

Observación:

- Se decidió emplear un conversor con resolución de 8 bits que permite la lectura de valores de presión en escalones de:

$$\Delta_{\text{Lecturas}} = \text{rango presiones} / 2^{(\text{resolución conversor A/D})} \quad \text{Ec. 8}$$

$$\Delta_{\text{Lecturas}} = (0 - 2000) \text{ PSI} / 2^8 \quad \text{Ec. 9}$$

$$\Delta_{\text{Lecturas}} = 2000 \text{ PSI} / 256 = 7.8 \text{ PSI}$$

Ec. 10

Tener una resolución de medida de presión de 7.8 PSI es aceptable para este sistema de simulación en particular, ya que en un gasoducto el control de la presión no se logra con mejor precisión debido al mismo tamaño del sistema y a los cambios en las diferentes subestaciones de bombeo, con lo cual no se empleará un sistema de simulación con un control en la presión mejor del que se puede obtener en el gasoducto real.

2.3.3.3 Asignación de puertos y módulos del microcontrolador: Consiste en la distribución de los pines disponibles del microcontrolador entre las diferentes etapas de la tarjeta.

Los módulos del controlador empleados son: el módulo de conversión de señal analógica a digital, y el de recepción/transmisión serial para intercambiar la información con el computador

El número de pines disponibles por cada puerto son:

Puerto A (PortA): 8 pines.

Puerto B (PortB): 8 pines.

Puerto C (PortC): únicamente 5 pines, del C0 al C4.

Puerto D (PortD): están disponibles 6 pines, D0, D1, D2, D3, D4 y D5.

Puerto E (PortE): solo dos pines, uno para recepción y otro para transmisión serial

La figura 11 muestra la distribución final de los pines del microcontrolador, además de la dirección entrada o salida del pin, el nombre del pin en la literatura del componente (dentro del marco del microcontrolador).

En la figura los pines TxD y RxD se dedican a la comunicación serial, conexión que simplifica el cableado y reduce sustancialmente la susceptibilidad a interferencias entre la tarjeta de adquisición y el microcomputador, dado que es transmisión digital.

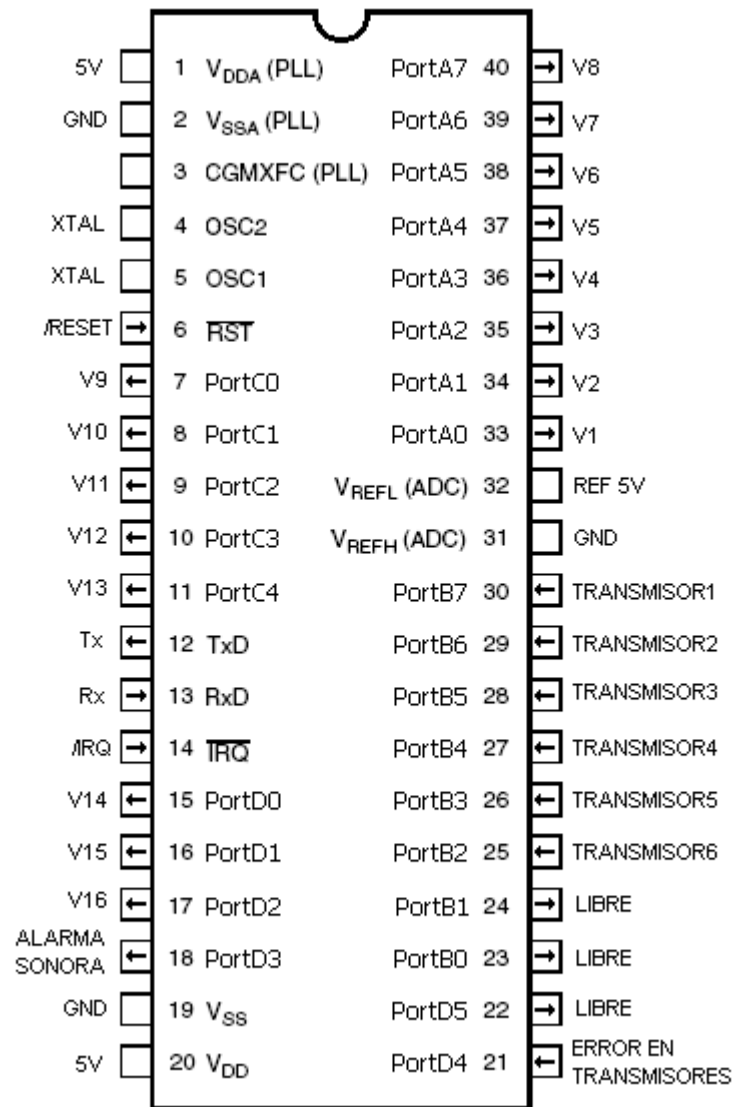


Figura 11. Asignación de pines para el microcontrolador. Fuente: Autores

Las salidas digitales de los pines PortA[7:0], PortC[0:4], PortD[0:2], se emplean para el control de las dieciséis (16) válvulas electro-neumáticas *ON/OFF*.

Los ocho (8) entradas para conversión de análogo a digital de PortB[0:7] tienen una resolución de 8 bits, y se usan para digitalizar la información proveniente de los transmisores de nivel, presión y concentración de H₂S.

Las tres (3) entradas digitales restantes (PortD[3:5]) se utilizaron para detectar lazo abierto en algún transmisor, y para posible expansión del proyecto.

2.3.3.4 Oscilador para el microcontrolador: Tanto para la alimentación como para el oscilador se empleó el circuito mostrado en la hoja de datos del fabricante, la consideración principal para elegir la velocidad del cristal es que sea múltiplo entero de la velocidad de transmisión serial, en la sección de software se detallará más este tópico, para este diseño se eligió una frecuencia de reloj de 4.9152MHz (conexión mostrada en la Fig. 12).

2.3.4 Referencia de voltaje:

Esta etapa es indispensable para evitar que el ruido en el voltaje DC de alimentación del microcontrolador y en general de la tarjeta afecte la precisión de la conversión A/D; aprovechando que el módulo ADC del microcontrolador tiene voltaje de referencia independiente al del resto del chip se añadió a este una referencia de voltaje dedicada a la digitalización que no dependa de las condiciones de carga del resto del sistema. Una referencia de voltaje brinda mayor calidad en un voltaje DC a expensas de una menor capacidad de carga respecto a un regulador, se eligió el circuito integrado REF02.

El REF02 es una referencia de voltaje de precisión de 5V, está específicamente diseñado para instrumentación portátil, transductores, conversores A/D y D/A, y voltímetros digitales. Proporciona una salida estable con un ruido típico de $4\mu V_{pp}$ ($10\mu V_{pp}$ máx.) frente a los $45\mu V$ de los reguladores serie LM78xx. Tiene un rango de voltaje de entrada de 8V a 40V con una corriente en vacío tan baja como 1mA, y una excelente estabilidad frente a la temperatura debido a un diseño mejorado ^[5].

Aunque físicamente el integrado tiene 8 patillas, solo se emplearon las tres correspondientes a la operación estándar del mismo (Fig. 13): V_{IN} donde están presentes 15V provenientes del regulador LM7815 localizado en la misma tarjeta, V_{OUT} y GND se conectaron lo mas cerca posible a los pines 32 y 31 del microcontrolador (voltaje máximo y mínimo de referencia del módulo de conversión A/D) respectivamente.

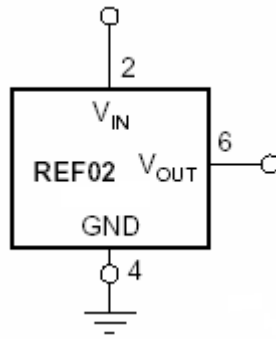


Figura 13. Configuración de los pines del REF02. Fuente: Hoja de datos del fabricante

2.3.5 Etapa de potencia para el accionamiento de las válvulas:

En esta etapa se podrían haber empleado relés, pero como se evitó el uso de componentes mecánicos se decidió emplear transistores, los que harían la misma función con menor consumo de potencia y más confiabilidad (figura 14).

La configuración empleada para el transistor es de interruptor digital, es decir que sus zonas de operación serán las de corte y saturación, sin pasar por la región activa. Se omitirán algunos detalles de diseño pues son similares a la etapa de protección y detección de lazo abierto previamente expuesta.

Como las bobinas de las válvulas electro-neumáticas a controlar son de 24VDC y 4.5W se obtiene que la corriente nominal que se debe manejar es de: $4.5 / 24 = 200\text{mA}$ por cada válvula. Se encontró que los transistores genéricos 2N2222 cumplen con este requerimiento, pues la corriente de colector que éstos pueden controlar es cuatro veces mayor, además la frecuencia para ganancia unitaria es mucho mayor a la que opera el sistema.

Tabla 16. I_C , f_T y h_{FE} del transistor 2N2222.

Referencia	I_C	f_T	h_{FE}
2N2222	0.8A	300MHz	200 típico

Se tiene que las tensiones disponibles a la entrada son 0 o 5V que provienen de los puertos de salida del microcontrolador según se desee desactivar o activar una válvula respectivamente.

La corriente de entrada del circuito es la misma que a través de R en la Fig.14:

- Para entrada 0V: 0mA.
- Para entrada 5V: $(5V - 1.2V - 0.7V) / 1k\Omega = 3mA$, donde se tienen en cuenta las caídas de potencial de D1 (diodo LED) y la juntura B-E de Q.

Como la corriente típica que puede suministrar cada pin del microcontrolador es de 10mA, el presente diseño no presenta inconveniente por sobrecarga a éste.

La corriente máxima de colector para la región de saturación sería: $I_E \cdot \beta = 600mA$, como es mayor que la corriente por la bobina, el diseño es apropiado.

La resistencia de colector está representada por la bobina actuadora de las válvulas.

Como la bobina se opone a la variación de la corriente eléctrica, se conectó en paralelo un condensador y un diodo schottky que permita la circulación transitoria de corriente en el sentido contrario al de colector en el momento en que el transistor pase de saturación a corte, evitando que la bobina pueda generar un pico de voltaje que pueda dañar el transistor u otro componente. El diodo schottky tiene la característica de responder más rápidamente al efecto de conmutación

cuando se abre o cierra una válvula y la caída de voltaje es de 0.3-0.5V en comparación con los 0.6-0.8V típicos de los rectificadores de silicio.

Tabla 17. Lista de componentes de la etapa de potencia para las válvulas.

COMPONENTE	EQUIV. ECG	DESCRIPCIÓN
D1		LED verde, diámetro 3.05mm.
D2	578	Diodo de barrera schottky SR105
R		Resistencia 1K Ω , 1/4W
C		Condensador electrolítico 1 μ F 50V
Q	123A	Transistor de Silicio 2N2222, NPN

En la figura 14 D1 corresponde a un LED que permite notar visualmente en la tarjeta de adquisición y control el estado *ON/OFF* de cada una de las válvulas.

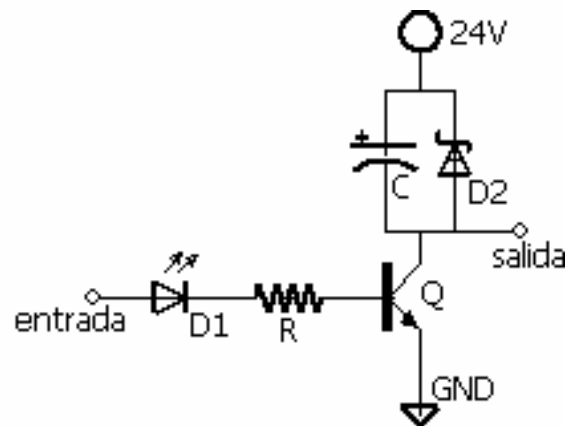


Figura 14. Circuito de conexión de la etapa de potencia para las válvulas. Fuente: Autores

El anterior circuito se repite por cada válvula a controlar (dieciséis en total). La entrada corresponde a los pines asignados como puerto de control digital del microcontrolador, como se muestra en la tabla 18.

Las terminales para la siguiente etapa (bobinas de las válvulas) son el terminal marcado como 'salida' y 24V.

Tabla 18. Asignación de pines para las válvulas.

Nro. Válvula	Puerto del μC
1	PortA[0]
2	PortA[1]
3	PortA[2]
4	PortA[3]
5	PortA[4]
6	PortA[5]
7	PortA[6]
8	PortA[7]
9	PortC[0]
10	PortC[1]
11	PortC[2]
12	PortC[3]
13	PortC[4]
14	PortD[0]
15	PortD[1]
16	PortD[2]

2.3.6 Aislamiento contra lazo de tierra y sobretensión:

La necesidad de aislamiento eléctrico entre la tarjeta y el puerto serial del computador surgió porque el sistema está conectado a tierra en dos puntos diferentes: en la planta de simulación y en la sala de control, idealmente éstos

deberían estar al mismo nivel de referencia, pero esto rara vez es cierto, de forma que se produce una corriente entre estos puntos que puede alterar las lecturas de los instrumentos o dañar el puerto serie en la tarjeta o en el PC.

Para solucionar este inconveniente se empleó el integrado ISO150 que es un acoplador de datos de dos canales aislado galvánicamente⁶, capaz de transmitir confiablemente datos a velocidades de hasta 80 MBaudios, esta velocidad no obstaculiza el diseño pues la comunicación serial está implementada a 9600 Baudios, en este integrado cada canal puede programarse individualmente para transmitir datos en cualquier dirección. Este dispositivo rechaza transitorios de hasta 1.6kV/s^[3], lo que nos permite dar protección adicional contra *glitches* o altos dV/dt .

El diagrama de conexiones es el recomendado por el fabricante (figura 15):

- Se hace hincapié en que las fuentes de alimentación y puntos de aterrizaje del lado A y B del integrado deben estar eléctricamente aisladas, esto se logra empleando diferentes transformadores, circuitos de rectificación y filtrado para cada una: del lado A se emplea la misma fuente de la tarjeta en general (nodos 5V y GND), y del lado B se tiene una dedicada a este integrado (denominados 5V2 y GND2).
- Cerca de los pines de alimentación se conectó en paralelo un condensador electrolítico de 0.1 μ F con uno cerámico de 1nF para evitar inducción de oscilaciones o ruido en el integrado debido a la conmutación presente cuando se transmite información.

⁶ Los datos se transmiten por una barrera de aislamiento por pulsos complementarios a través de condensadores de 0.4pF de alta tensión. La circuitería del receptor restaura los pulsos a niveles lógicos estándar.

Tabla 19. Componentes del circuito de aislamiento galvánico.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
ISO150	Integrado de aislamiento galvánico
C1	Condensador electrolítico 0.1 μ F 50V
C2	Condensador cerámico 1nF

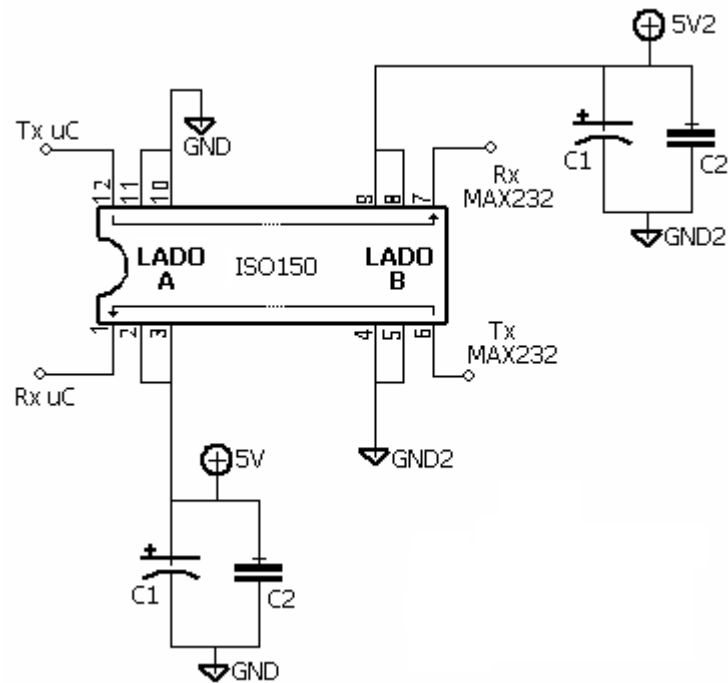


Figura 15. Circuito de aislamiento contra sobretensión y lazo de tierra. Fuente: Hoja de datos del fabricante

El problema de bucle de tierra también ésta presente en el cableado de los transmisores, se soluciona conectando solo uno de los extremos del cable a tierra, como se aconseja en los manuales de instalación de los transmisores.

2.3.7 Conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C para la comunicación serial:

Esta etapa convierte los niveles TTL (0 o 5V) provenientes del microcontrolador a niveles del estándar serial RS-232C (valores positivos y negativos simétricos de hasta 25V) para transmitir información hacia el PC; y en el sentido contrario para la recepción de datos del PC al microcontrolador.

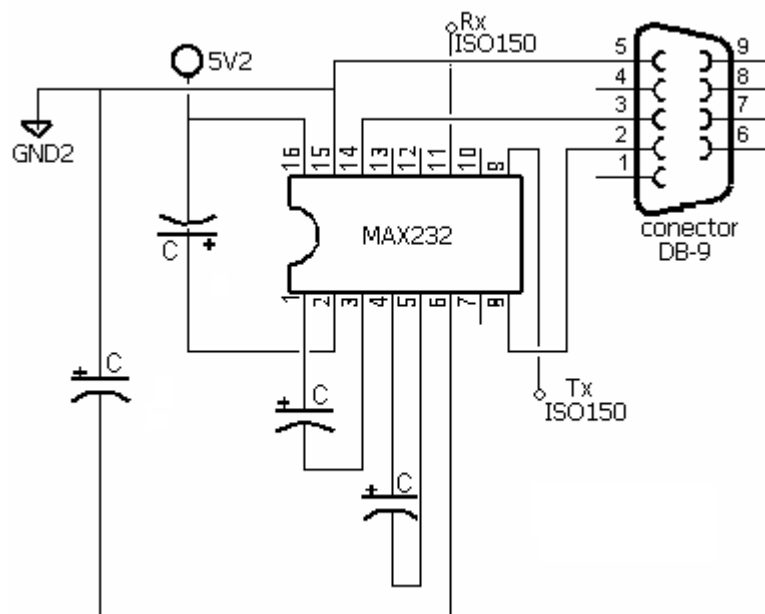


Figura 16. Circuito de conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C. Fuente: Hoja de datos del fabricante

El sistema, figura 16, está basado en el circuito integrado MAX232 el cual es un receptor/transmisor de tensiones RS-232C de baja potencia que funciona en base a un convertor DC-DC que solo requiere una fuente de +5V, eliminando la necesidad de fuentes de poder de +/-12V. Los receptores tienen filtros contra ruido, eliminando la necesidad de implementarlos externamente. Las entradas del transmisor y las salidas del receptor son compatibles con niveles tanto TTL como CMOS. Su corriente de operación es de 3.0 mA máximo ^[13].

Tabla 20. Componentes de la etapa para conversión entre niveles de voltaje TTL y RS-232C.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
MAX232	Receptor/transmisor de niveles RS-232C
C	Condensador electrolítico 1 μ F 16V

Externamente son necesarios condensadores que almacenen los 5V disponibles y que internamente se suman e invierten de manera que se obtienen +/-10V necesarios para que la transmisión cumpla con los niveles de tensión del estándar serial.

La fuente de alimentación es la misma de 5V aislada del resto de la tarjeta que alimenta el lado B del ISO150 (nodos 5V2 y GND2).

2.3.8 Protección contra sobrevoltaje en el cable de comunicación serial:

Los puertos de comunicación serial tienden a sufrir daños por sobretensión, estos daños suelen resultar caros, por ejemplo en un computador moderno significaría el cambio de toda la placa base debido a que el puerto está integrado en esta. En el proyecto existen posibilidades reales de daño debido a que el cable de comunicación está dentro de un conducto por el cual se están haciendo continuas modificaciones a otros sistemas electrónicos.

Se implementó un circuito sencillo como el de la figura 17, que aprovecha el hecho de que la norma RS-232C estipula que el voltaje máximo de operación es de +/-25 voltios, en particular en el proyecto se tienen +/-10V provenientes de la tarjeta de adquisición (MAX232) y +/-12V del puerto serial del computador, con lo cual se debe impedir la presencia de tensiones superiores en los puertos.

La presente etapa es un recortador, que tiene como función eliminar cualquier voltaje de magnitud mayor a 24V. Este circuito puede construirse con varistores o diodos zener. Aunque el diseño original se planteó con varistores, debido a que estos no trabajan con voltajes de operación tan bajos, se consideró el diseño del circuito con diodos zener.

Los diodos zener tienen la ventaja ante los varistores de reaccionar mas rápido a la sobretensión pues tienen una capacitancia mas baja, lo que además permite transmisión de datos a mayor velocidad; el único problema encontrado es que la potencia que pueden manejar es muy baja, lo que hace necesario limitar la corriente a través de ellos.

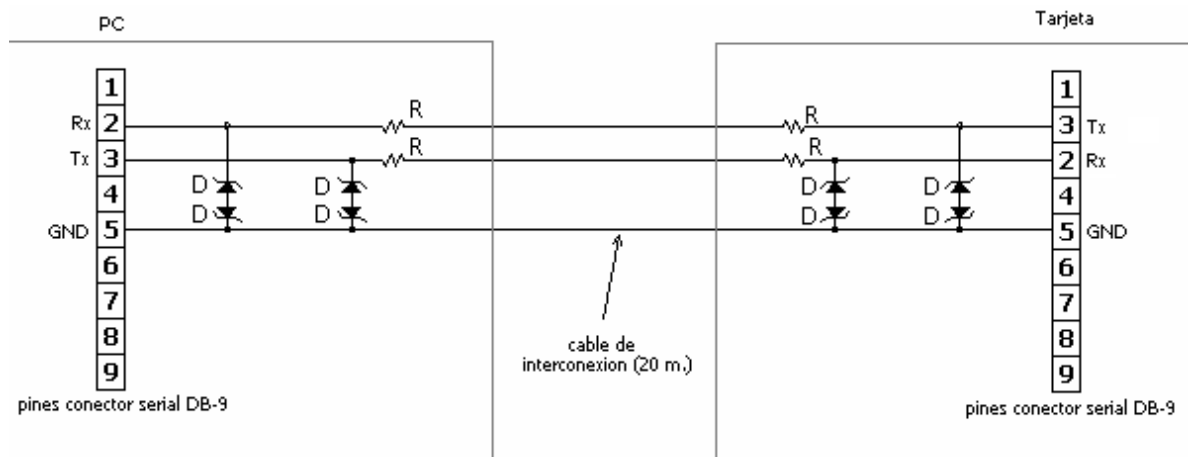


Figura 17. Circuito de protección contra sobrevoltaje del cable serial. Fuente: Autores

Si se observa con atención, se nota que el circuito en realidad se repite cuatro veces: dos en el pin de recepción, y dos para el de transmisión en cada extremo del cable dedicado a la comunicación serial. Los zener D están conectados en contraposición para dar protección tanto en el ciclo positivo y negativo de un voltaje superior a 24V. Como se mencionó anteriormente, los diodos zener no soportan una gran potencia a través de ellos, de modo que se emplearon resistencias de 10Ω en serie con estos para que actúen como fusible.

Tabla 21. Componentes del sistema de protección contra sobrevoltaje del cable de comunicación.

COMPONENTE	EQUIV. ECG	DESCRIPCIÓN
D	5081A	Diodo zener 1n4749a 24V 1W
R		Resistencia 10 Ω 1/8W

Como se espera que el contacto con tensiones por fuera del rango ocurra en el cable en el trayecto entre la tarjeta de adquisición y el computador, se inserta la resistencia entre el cable y el pin correspondiente del conector DB9 presente en los puertos seriales.

Debido a lo anterior, el circuito se construyó dentro de la carcasa de cada uno de los conectores.

2.3.9 Regulación de voltaje:

Esta es la etapa que energiza todos los circuitos de la tarjeta, la que a su vez es energizada por una UPS que también mantiene en operación el computador que está en la sala de control.

Como se muestra en la figura 18 mediante números encerrados por círculos, el circuito repite las siguientes etapas para cada una de las salidas existentes (5V aislados, 24V, +/-15V, 5V y la referencia de voltaje para el conversor A/D):

- Protección contra sobrecarga, representado en la figura por el círculo con 1.
- Protección contra picos de tensión, representado con 2.
- Reducción de voltaje, representado con 3.
- Rectificación, representado con 4.

- Filtrado, representado con 5.
- Regulación, representado con 6.

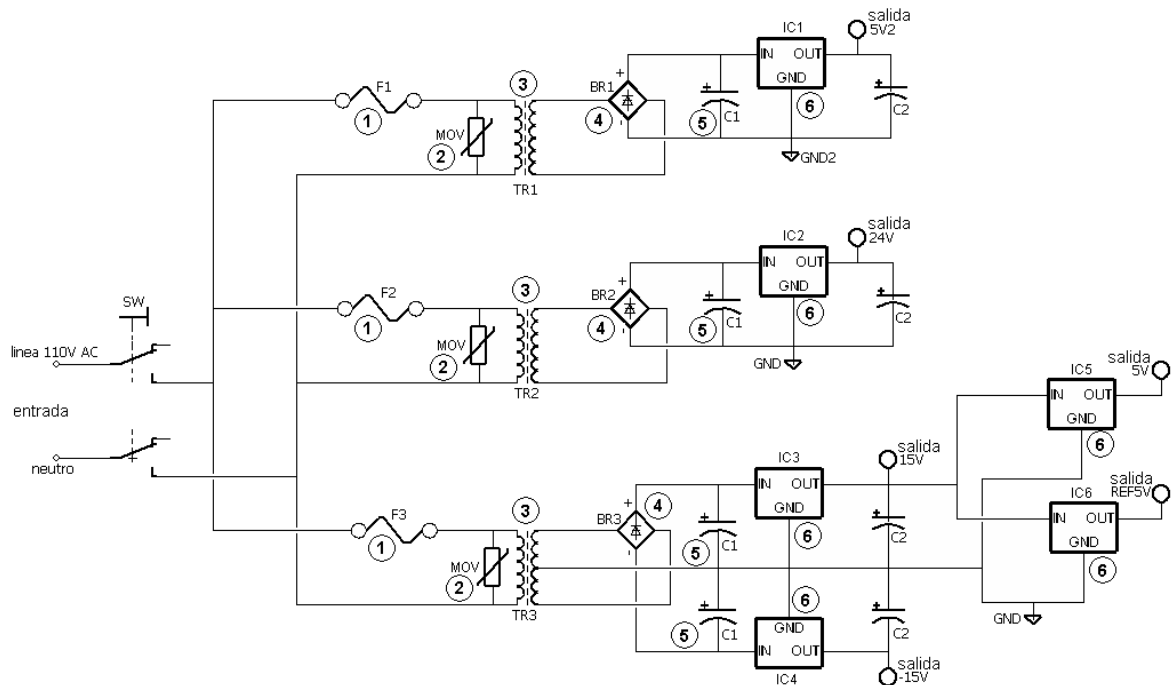


Figura 18. Circuito de regulación de voltaje DC de la tarjeta. Fuente: Autores

2.3.9.1 Protección contra sobrecarga: Está representado por los fusibles F1, F2 y F3; estos cortan el circuito eléctrico fundiéndose en caso de circular una corriente mayor de la cual fueron diseñados.

Para encontrar los valores adecuados de corriente se hizo la medición mediante un amperímetro de la corriente del primario de los transformadores con los circuitos a plena carga y se usaron fusibles con un 150% del valor obtenido (valores mas cercanos disponibles comercialmente).

Tabla 22. Valores para los fusibles en el primario de los transformadores.

TRANSFORMADOR	V SEC.	I SEC.	POT. SEC.	I PRIM.	FUSIBLE
TR1	5V	0.5A	2.5W	38mA	50mA
TR2	24V	5A	120W	1.2A	2A
TR3	+/-15V	1A	30W	250mA	0.5A

2.3.9.2 Protección contra picos de tensión: Se emplean varistores o supresores de picos de voltaje como medida de protección fiable y económica contra transitorios que pueden ser producidos, por ejemplo, por relámpagos, conmutaciones o ruido eléctrico en líneas de potencia de corriente alterna.

Los MOV (varistores de óxido metálico, por sus siglas en inglés) tienen apariencia de condensador cerámico aunque de mayor tamaño. Cuando aparece un transitorio de magnitud mayor a la admitida por el MOV, este cambia su resistencia de un valor alto a otro valor muy bajo. El transitorio es absorbido por el varistor, protegiendo de esa manera la etapa siguiente correspondiente a los transformadores.

Los varistores son una medida redundante de protección ya que se tiene la estabilización proporcionada por la UPS empleada en el sistema.

2.3.9.3 Conversión de voltaje: Dado que los circuitos operan a niveles de voltaje inferiores a 125V, se usan transformadores que reduzcan la tensión a los valores requeridos y que soporten la corriente de operación.

- TR1 tan solo suministra la tensión aislada para el MAX232 y el ISO150, de modo que es suficiente con 500mA.

- En el caso de TR2 debe alimentar 16 válvulas y 6 transmisores: $16 \times 200\text{mA} + 6 \times 20\text{mA} = 3.2\text{A} + 0.12\text{A} = 3.32\text{A}$ (los 20mA corresponden a la máxima corriente a través de los transmisores, lo que ocurre en el rango superior de la lectura). Se eligió un transformador con capacidad para 5A en el secundario.
- Para TR3 la mayor cantidad de corriente circula cuando toda la etapa de activación de las válvulas está encendida además de la alarma sonora; por cada válvula activada el microcontrolador debe suministrar una corriente de 3mA. En total: $17 \times 3\text{mA} = 51\text{mA}$, esta sería la sección que mas demanda corriente, aunque también se debe alimentar la mayoría de componentes de la tarjeta como los RCV420, el microcontrolador y el lado A del ISO150, por seguridad se empleó un transformador con capacidad de corriente de carga nominal de 1A.

2.3.9.4 Rectificación: Esta función la cumplen los puentes rectificadores de onda completa, la consideración más importante fue la de poder manejar una corriente superior a la proporcionada por el transformador al que se conectaría (ver lista de componentes del circuito).

2.3.9.5 Filtrado: Los condensadores permiten un suavizado de la onda rectificada, que aunque ya es corriente continua es pulsante. La principal consideración de diseño fue la de tener el voltaje de operación correcto, ya que si era inferior el condensador podría explotar violentamente, y si se elige demasiado alto el condensador será demasiado voluminoso.

2.3.9.6 Regulación: Es la parte definitiva para obtener un voltaje DC sin rizado, se usaron circuitos integrados de la familia LM78XX los cuales tienen un rizado típico de $45\mu\text{Vpp}$.

Aunque en la figura 18 no se muestra, la salida regulada de 24V para los transmisores es independiente por cada uno de ellos, de modo que se tienen seis integrados LM7824, con esto se intenta minimizar la interferencia entre los transmisores, ya que se necesita tener la mayor fiabilidad de las lecturas de estos últimos.

Finalmente se tiene un interruptor general para el energizado de la tarjeta.

Tabla 23. Lista de componentes del circuito de regulación de voltaje DC de la tarjeta.

COMPONENTE	EQUIV. ECG	DESCRIPCIÓN
SW		Interruptor de dos polos, dos posiciones, 10A 250V
F1		Fusible 250mA
F2		Fusible 2A
F3		Fusible 0.5A
MOV	2V150	varistor de óxido metálico (MOV) S10K150 150 VRMS
TR1		Transformador 5V 0.5A
TR2		Transformador 24V 5A
TR3		Transformador +/-15 v 1A
BR1	156	diodo rectificador rl204 1000prv 3A
BR2	5315	punte rectificador KBPC606, 600prv, 25A
BR3	5306	punte rectificador W08M, 800prv, 1.5A
C1		Condensador electrolítico 1000 μ F
C2		Condensador electrolítico 100 μ F
IC1	960	Regulador de voltaje LM7805 1A
IC2		Regulador de voltaje LM7824 0.5A
IC3	968	Regulador de voltaje LM7815 1A
IC4	969	Regulador de voltaje LM7915 1A
IC5	960	Regulador de voltaje LM7805 1A
IC6		Referencia de voltaje REF02

3.3.10 Fuente de potencia de respaldo:

Fue necesaria una UPS (Fuente de Potencia No-Interrumpible) en la sala de control del CIG debido a los continuos cortes eléctricos en la sede Guatiguará de la UIS. El aparato evita descontinuar las simulaciones en ejecución, cuya duración

típica es de tres días; ahorrando tiempo y dinero en caso de fallo en la red eléctrica primaria.

Como la UPS empleada opera on-line, se tiene como beneficio adicional una gran pureza en la señal senoidal, pues es generada directamente por el aparato.

Tabla 24. Características de la UPS ^[17].

Modelo	VGD-3000 marca PowerCom
Potencia	3000VA / 2100W
Voltaje de entrada AC	100V, 110V, 115V, 120V, 127V
Frecuencia de entrada AC	50 o 60 Hz +/- 5 Hz
Voltaje de entrada AC	100V/110V/115V/120V
Frecuencia de salida AC	50Hz/60Hz (Auto detección)
Tipo de batería	Sellada de plomo, libre de mantenimiento
Voltaje DC de batería	12V 9AH X 6 = 72V
Tiempo de respaldo por batería	7 minutos
Tiempo de recarga de batería	90% en 4 horas después de descarga completa

2.4 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

Una de las prioridades para la fabricación del circuito impreso de la tarjeta fue separar la sección de potencia con la de adquisición/digitalización de señales provenientes de los transmisores para evitar interferencias en la parte análoga del sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior se trazaron las rutas más cortas posibles entre la señal obtenida de los transmisores pasando por los integrados RCV420 y de estos hasta la entrada del módulo de conversión A/D del microcontrolador.

- Accionamiento de las válvulas (figura 20): Se fabricó en otro PCB para facilitar su ubicación en la parte superior de la caja metálica, contiene los diodos LED que mostrarán visualmente el estado *ON/OFF* de las válvulas. Es la tarjeta que mayor requerimiento de corriente tiene, pues las válvulas pueden tomar más de 3A en total.

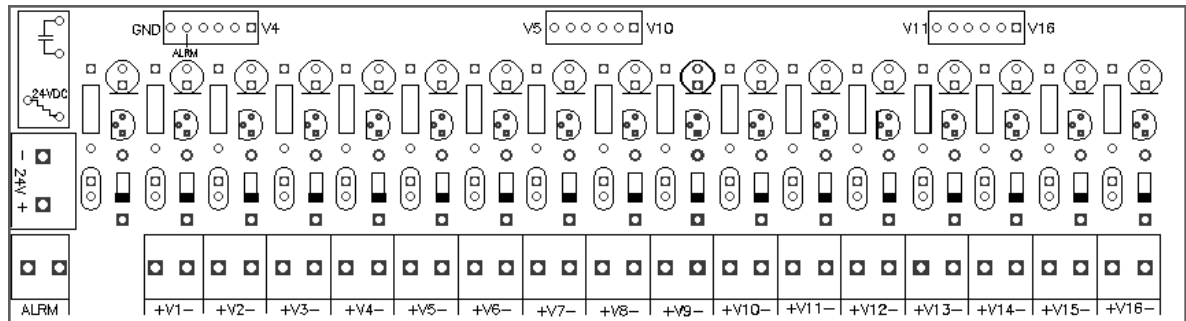


Figura 20. Esquema del circuito impreso para el accionamiento de las válvulas. Fuente: Autores

- Circuito impreso de potencia (figura 21): Contiene la parte de rectificación y filtrado del voltaje proveniente de los transformadores, tiene el trazado grueso para la parte de alimentación a las válvulas, los circuitos integrados de regulación se colocaron en la tarjeta principal.

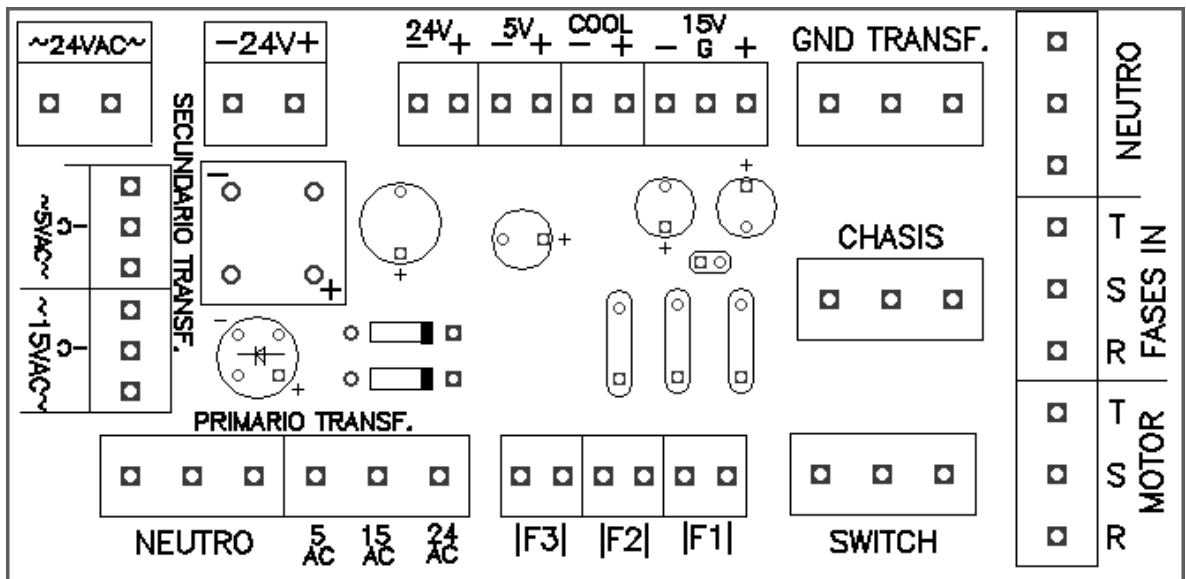


Figura 21. Esquema del circuito impreso de potencia DC. Fuente: Autores

3. SOFTWARE

El componente software del sistema es el responsable de que el hardware (la tarjeta de adquisición/control de las válvulas) realice su tarea, y además establezca comunicación con el computador para que a través de este último se logre finalmente el mando y supervisión de la planta física.

En el presente proyecto se implementaron dos programas:

- El software implementado para el microcontrolador que está en la tarjeta.
- La interfaz gráfica para el proceso, o Interfaz Humano-Máquina, implementada en LabVIEW, residente en el computador localizado a distancia en la sala de control.

3.1 SOFTWARE IMPLEMENTADO EN EL MICROCONTROLADOR

Es el encargado de la digitalización de la lectura de los transmisores, la detección de posible lazo abierto y el accionamiento de las válvulas y de la alarma sonora presente en la planta de simulación, todo esto coordinado mediante la comunicación existente con el computador.

La secuencia lógica de ejecución es mostrada en la figura 22.

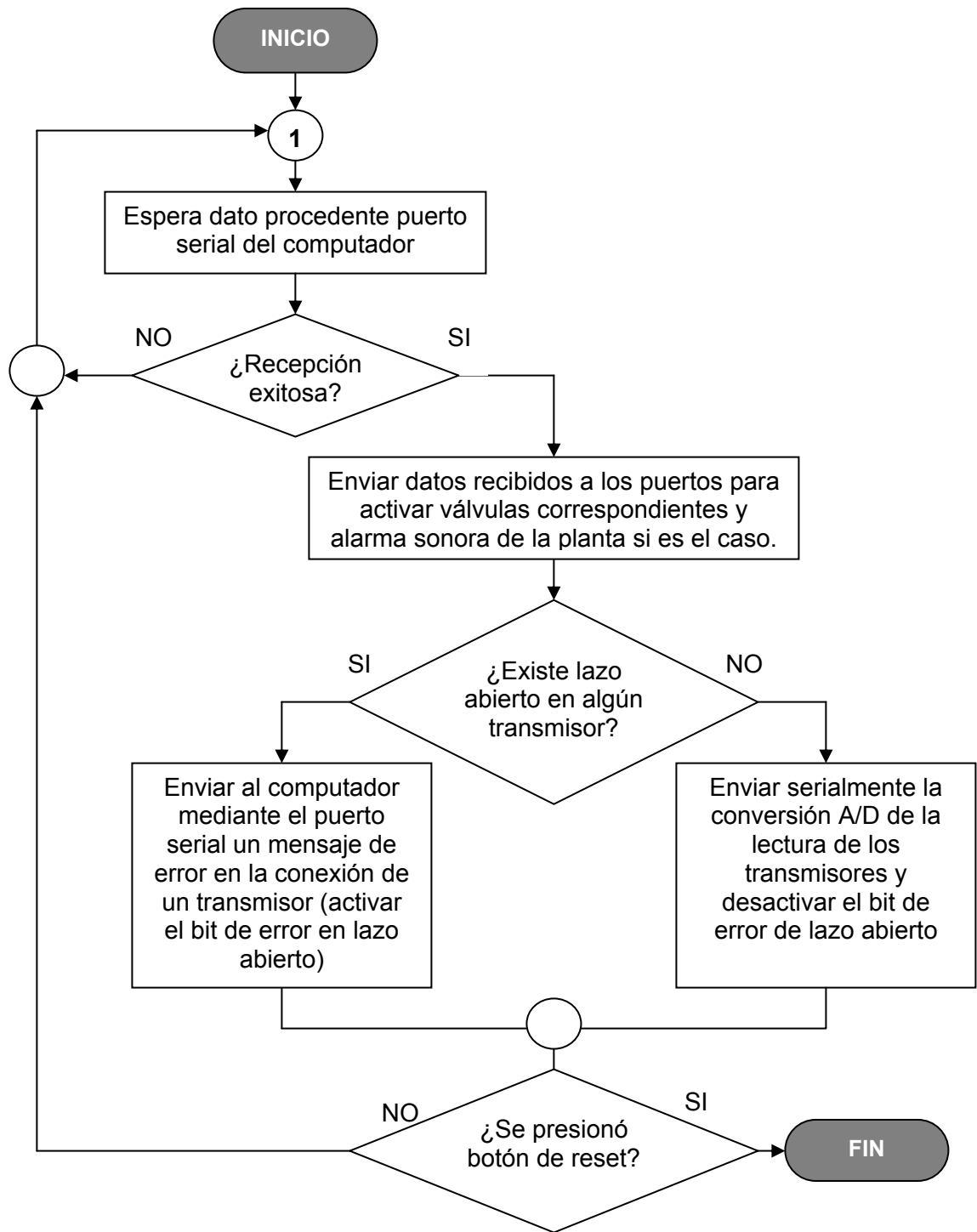


Figura 22. Secuencia lógica de ejecución del software dentro del microcontrolador.

Fuente: Autores

3.1.1 Módulos hardware del microcontrolador MC68HC08GP32 que fueron empleados:

3.1.1.1 Módulo de generación de pulsos de reloj (CGMC): Este generará la frecuencia de oscilación a la cual opera el integrado; ya sea a partir de un módulo PLL, o de un cristal externo. En el proyecto no se usó la opción por PLL pues la frecuencia no es tan estable como es el caso de la implementación mediante un cristal de cuarzo, y esto generaría errores en la comunicación serial.

La velocidad de reloj del sistema (frecuencia en el bus) equivale a cuatro oscilaciones del oscilador de cristal (base de tiempo).

Resultó útil una frecuencia de cristal de cuarzo correspondiente a 4.9152MHz (resultando en una frecuencia de bus del sistema de $4.9152\text{MHz} / 4 = 1.2288\text{MHz}$), esta cumplió con los siguientes parámetros que se tratan más detalladamente en su respectivo apartado:

- La velocidad óptima en el módulo de conversión ADC debe estar cerca de 1MHz:

$$\text{Frec}_{\text{Módulo ADC}} = \text{Frec}_{\text{bus}} / \text{Pre-escalador} = 1.2288\text{MHz} / 1 \quad \text{Ec. 11}$$

- Que sea múltiplo entero de la velocidad de transmisión serial, la cual como se verá mas adelante, corresponde a 9600 bits por segundo:

$$N = \text{Frec}_{\text{bus}} / 9600 = 128 \quad \text{Ec. 12}$$

3.1.1.2 Puertos de entrada/salida (I/O): Se dispone con un circuito integrado de 40 pines con cinco puertos denominados PortA, PortB, PortC, PortD y PortE, de

los cuales cada pin puede ser configurado independientemente como entrada o salida.

Los puertos A y B tienen disponibles 8 bits cada uno.

El puerto C tiene 5 bits: PortC[0] al PortC[4] (se debe tener presente que internamente los bits 5 y 6 de este puerto están aterrizados).

El puerto D tiene 6 bits, PortD[0] a PortD[5].

Finalmente el puerto E tiene dos bits: PortE[0] y PortE[1], que están dedicados a la transmisión y recepción serial respectivamente.

En la figura 23 se repite el diagrama de asignación de los pines de entrada/salida:

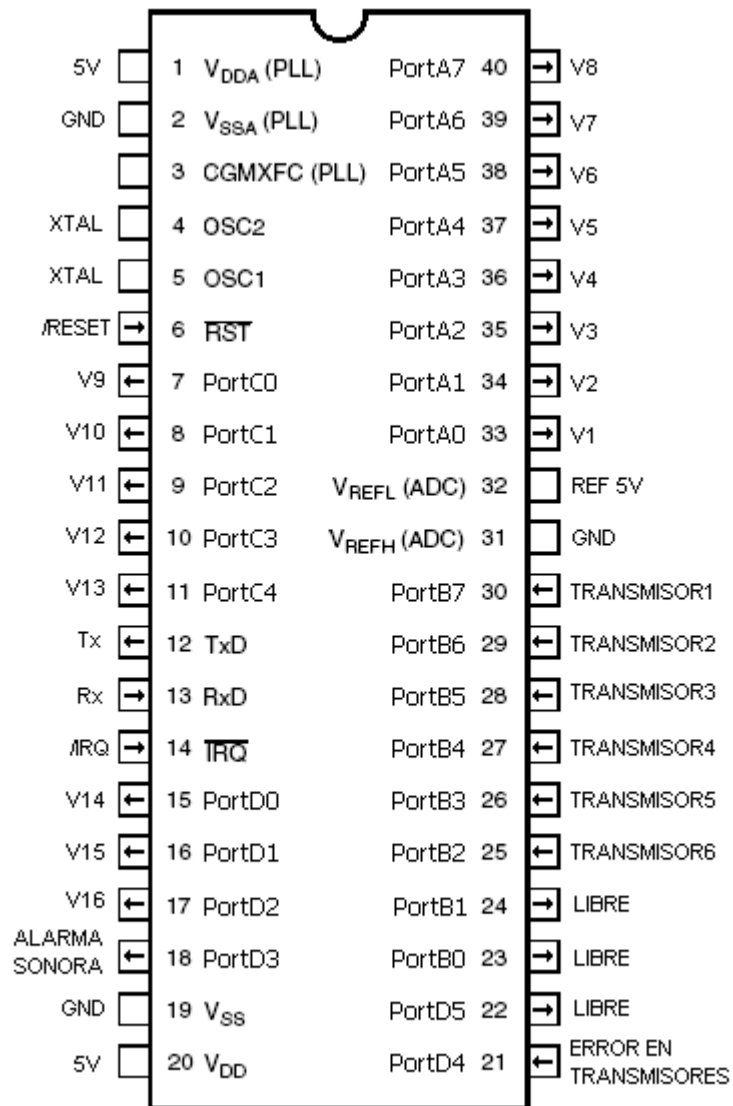


Figura 23. Asignación de pines para el microcontrolador. Fuente: Autores

Los detalles de la asignación de los pines están en el capítulo de hardware del presente informe.

Resta decir que se aplicaron las reglas de programación aconsejadas en la hoja técnica del microcontrolador como: escribir un dato al puerto antes de configurarlo como entrada/salida, y configurar los puertos no utilizados como salidas para evitar la inducción de ruido en estos.

3.1.1.3 Módulo de comunicación serial (SCI): Permite comunicaciones asíncronas de alta velocidad con otros dispositivos periféricos o controladores. Las patillas de PortE corresponden a las señales de recepción y transmisión serial.

En el software diseñado se configuró una interrupción cada vez que el microcontrolador reciba un dato en el pin de recepción, lo cual hará que el integrado salga del modo de bajo consumo de potencia WAIT.

Para seleccionar la velocidad tanto para el transmisor como para el receptor se activan los bits correspondientes del registro SCBR (*baud rate register*) que se muestran en la hoja de datos.

Después de que se produzca interrupción serial, esta se deshabilita mientras se está en proceso de conversión del módulo ADC, evitando así detener este último proceso.

3.1.1.4 Módulo de conversión analógica a digital (ADC): El ADC tiene ocho entradas asignadas a los pines del puerto PortB para muestrear tensiones. Un multiplexador análogo permite que un solo circuito conversor A/D seleccione una de las ocho diferentes fuentes.

Características del módulo de conversión análogo a digital:

- Ocho canales con entrada multiplexada.
- Método de aproximación lineal.
- Resolución de ocho bits (256 valores disponibles).
- Conversión continua o sencilla

Observaciones:

- Dado que el módulo ADC es multiplexado, no se puede hacer conversión de todos los canales simultáneamente, sino de manera secuencial.
- Este módulo puede usarse con base en encuestas de su estado o mediante interrupciones; se decidió el empleo de encuestas pues es el método ideal cuando se hace más de una conversión sucesiva y el microcontrolador no necesita realizar tareas adicionales como en este caso, además en el modo de interrupciones se necesita generar un retraso para estabilizar los circuitos análogos, lo que daría lugar a demoras indeseables en la conversión A/D.
- Se diseñó con cuidado el enrutado del pin de voltaje de referencia máximo V_{DDAD} para evitar introducir ruido a la etapa.
- El reloj del módulo de conversión tiene un sistema de divisor, el cual permite a partir del reloj del bus de sistema, hacerlo operar a un frecuencia cercana a 1MHz, en el presente sistema se usó un divisor de 1, que resulta en una frecuencia del módulo conversor idéntico al del resto del sistema.

3.1.2 Formato de comunicación:

Aprovechando que el sistema no requiere gran flujo de datos y que se debe evitar interferencia debida a excesivo cableado, los componentes software-hardware se comunican mediante el estándar RS-232C a través del puerto serie del PC.

La comunicación serial tiene alta inmunidad a las interferencias producidas por los equipos eléctricos, debido a que los datos se codifican de modo digital para su utilización en el proceso, y además, que el microcontrolador tiene incorporado el módulo de transmisión / recepción y LabVIEW soporta este estándar, y de esta manera se delega parte del control de errores de comunicación al hardware del sistema.

Los parámetros de la transmisión son 9600 Baudios con 8 bits de datos, paridad par y un bit de parada; es decir, que consiste en un encabezado o bit de inicio de valor lógico '0', seguido de 8 bits de la información a transmitir, inmediatamente después le sigue un bit que se encarga de asegurar que el número de bits 'altos' de la anterior información transmitida sea un número par (paridad par), y finalmente un bit de parada que siempre tendrá valor lógico alto. Cada bit tiene un periodo de $1/9600$ de segundo (ver Fig. 24).

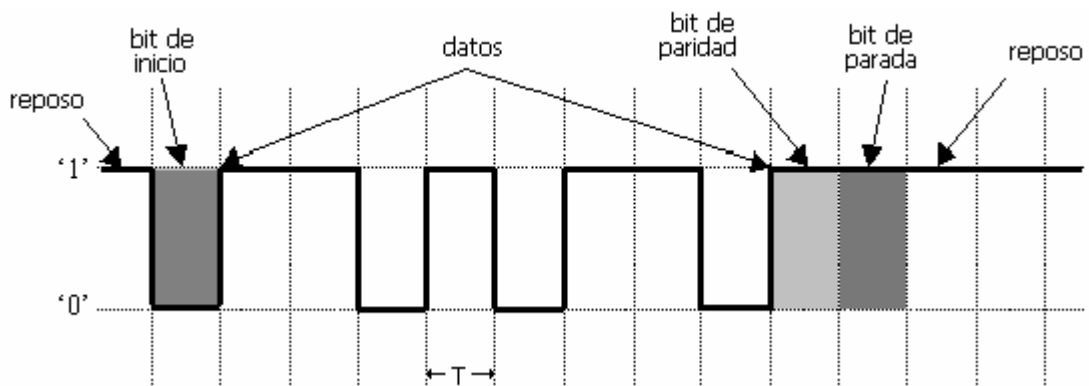


Figura 24. Gráfica en tiempo de una señal serial. Fuente: Autores.

3.1.3 Protocolo de comunicación:

Un ciclo de comunicación inicia cuando desde el computador se envían 5 bytes al microcontrolador, lo que hace que este último salga de su estado de reposo

(WAIT) y verifique que tanto el primer como último byte de esta secuencia correspondan al valor decimal 170 que sirve como indicador de inicio y fin de los datos transmitidos, si no se cumple esa condición, el microcontrolador ignorará estos datos y reiniciará su espera por una interrupción del módulo de recepción serial. Los restantes bytes proveen de la siguiente información al microcontrolador:

byte2: bits correspondientes a las válvulas 1 a la 8

byte3: bits correspondientes a las válvulas 9 a la 16

byte4: actualmente el bit menos significativo indica la activación de la alarma sonora que puede controlar la tarjeta, los demás bits se ignoran.

Después de obtener una recepción exitosa, el microcontrolador responde al computador enviando 10 bytes, de los cuales el primero y último son el valor decimal 85 como cabecera y fin de transmisión, los ocho bytes restantes se enumeran a continuación:

Bytes 2 al 7:

Valores de la conversión A/D de los transmisores de presión y nivel del tanque de mezcla, de presión y concentración de H₂S en el autoclave y de presión y nivel del tanque de alivio respectivamente.

Byte8:

Tiene dos posibles valores: '00001111' en notación binaria en caso que se detecte lazo abierto en algún transmisor, o '0' en caso de operación normal.

Byte9: Libre para futuras modificaciones al sistema.

El anterior ciclo de recepción / transmisión se repetirá indefinidamente durante la duración de una simulación en la planta.

3.1.4 Diagrama de flujo del programa residente en el microcontrolador: En las figuras 25 a 28 se muestra la secuencia de ejecución del microcontrolador, el listado en lenguaje ensamblador se anexa en medio óptico.

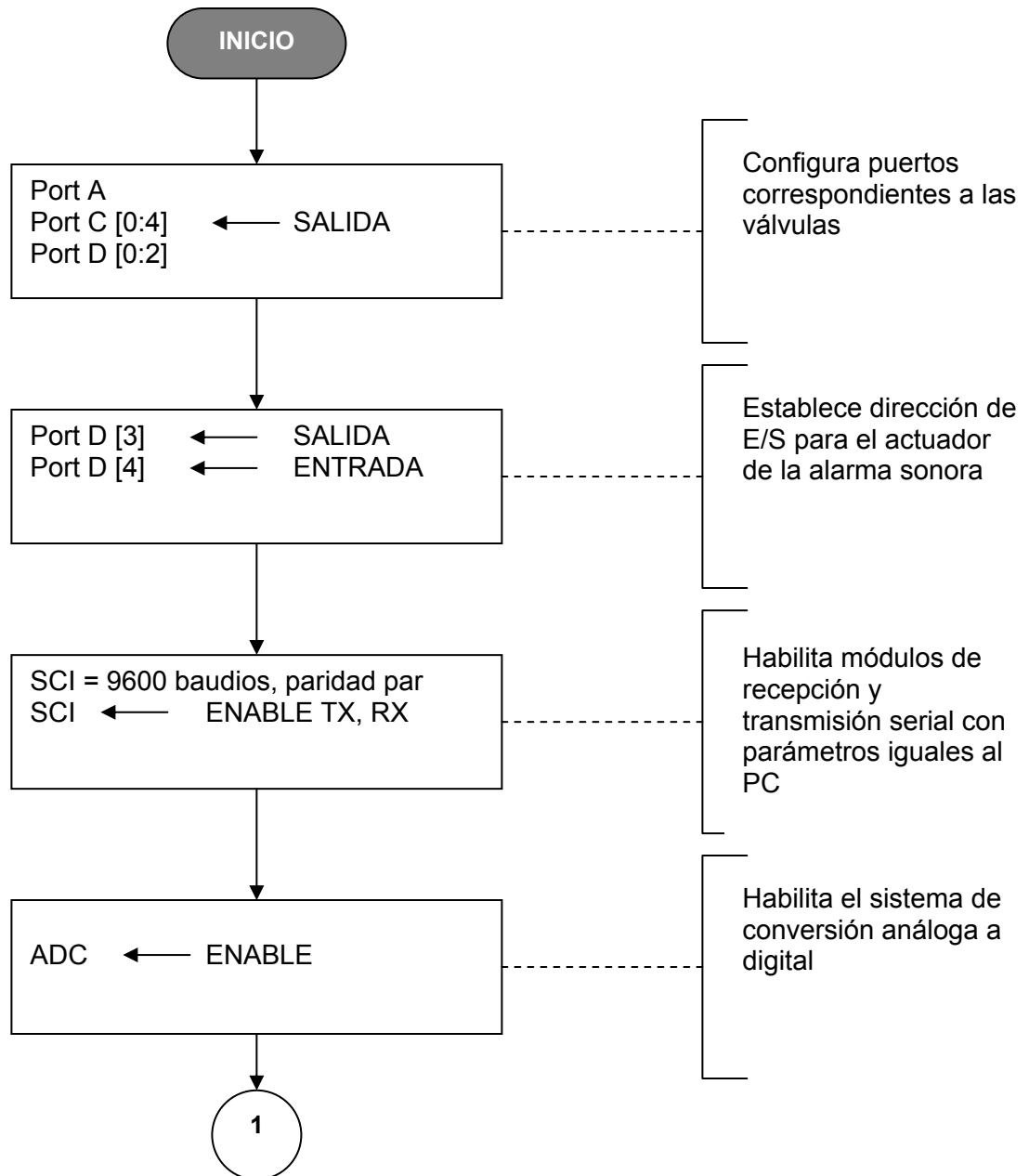


Figura 25. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador. Fuente: Autores

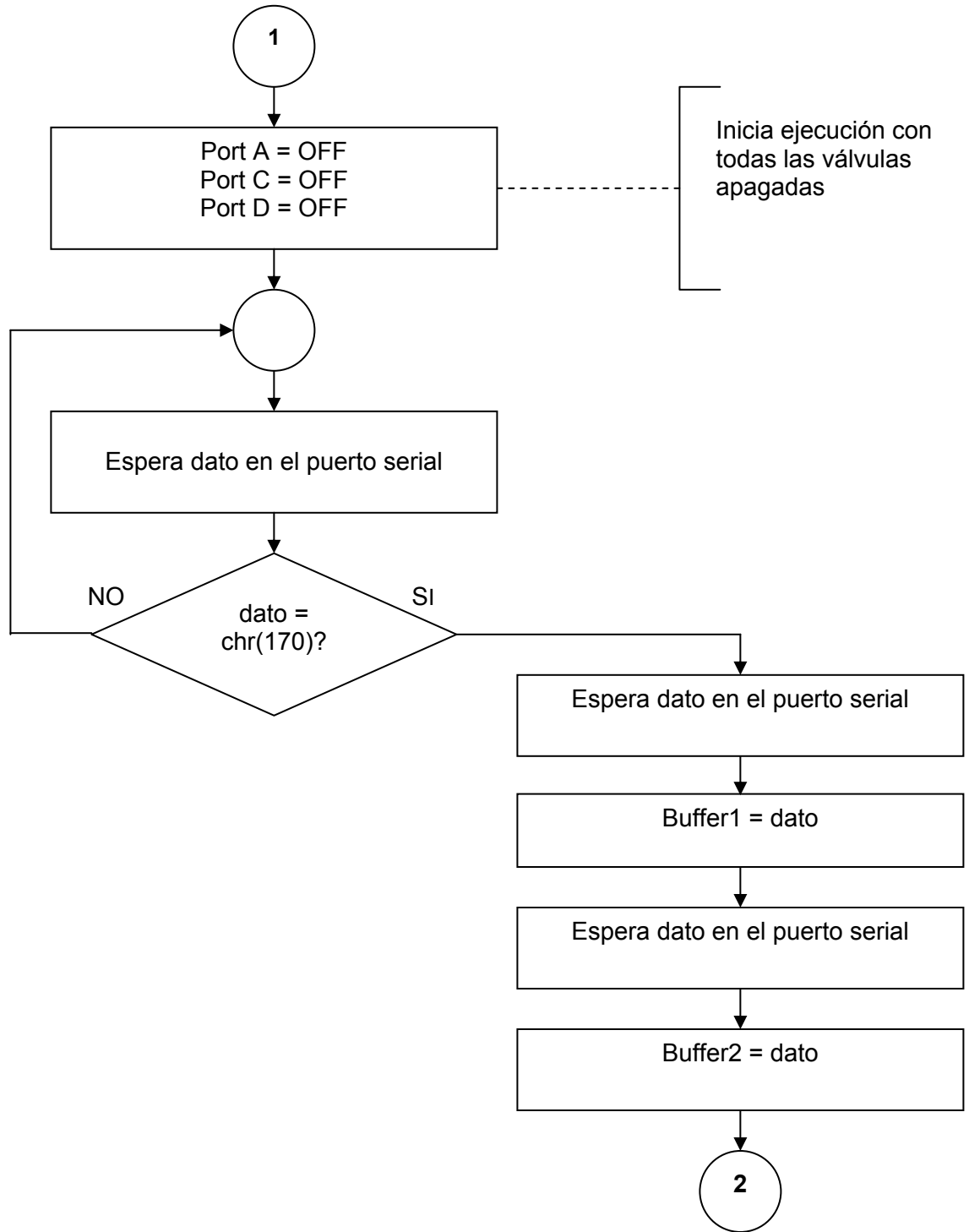


Figura 26. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación).

Fuente: Autores

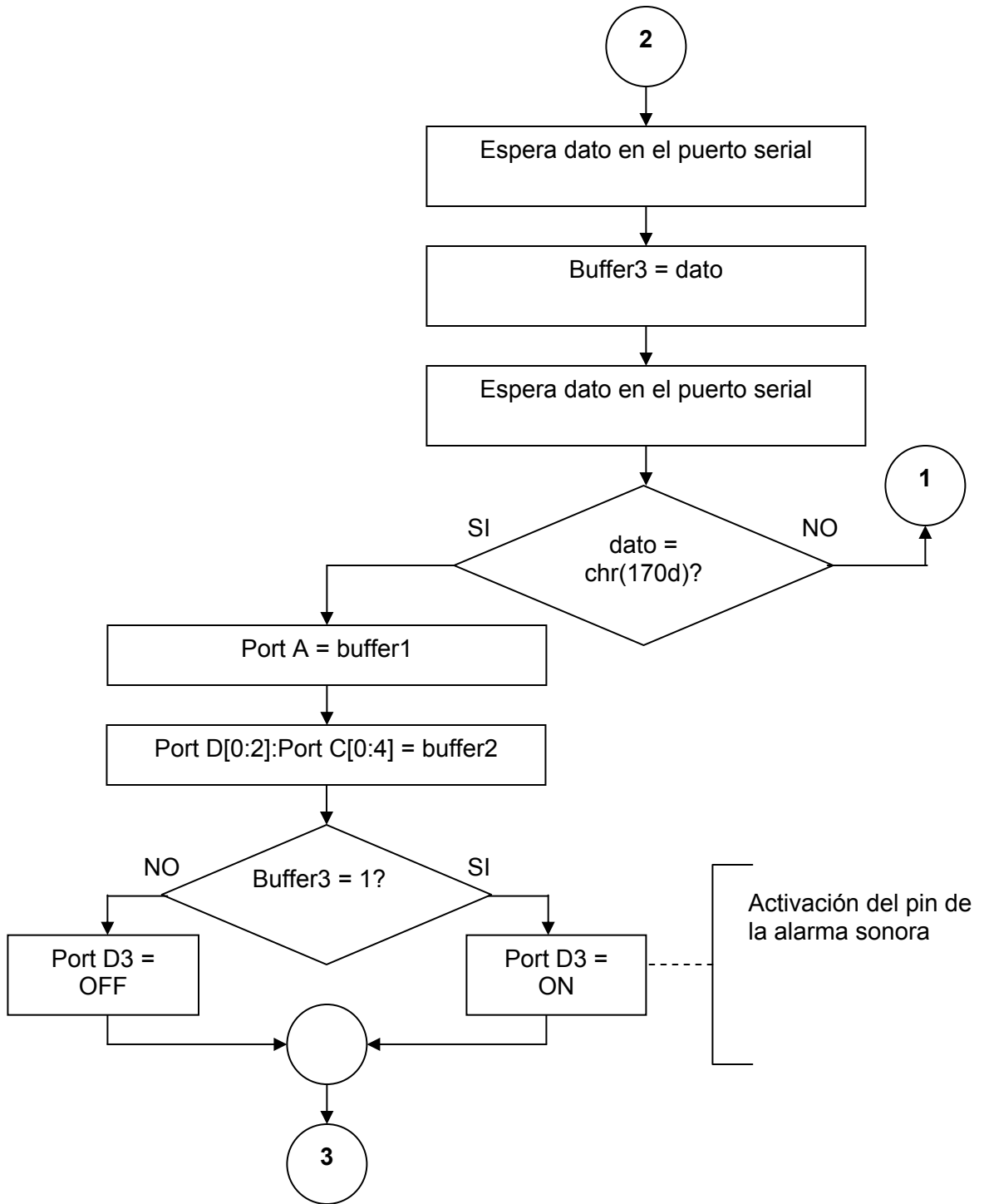


Figura 27. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación).

Fuente: Autores

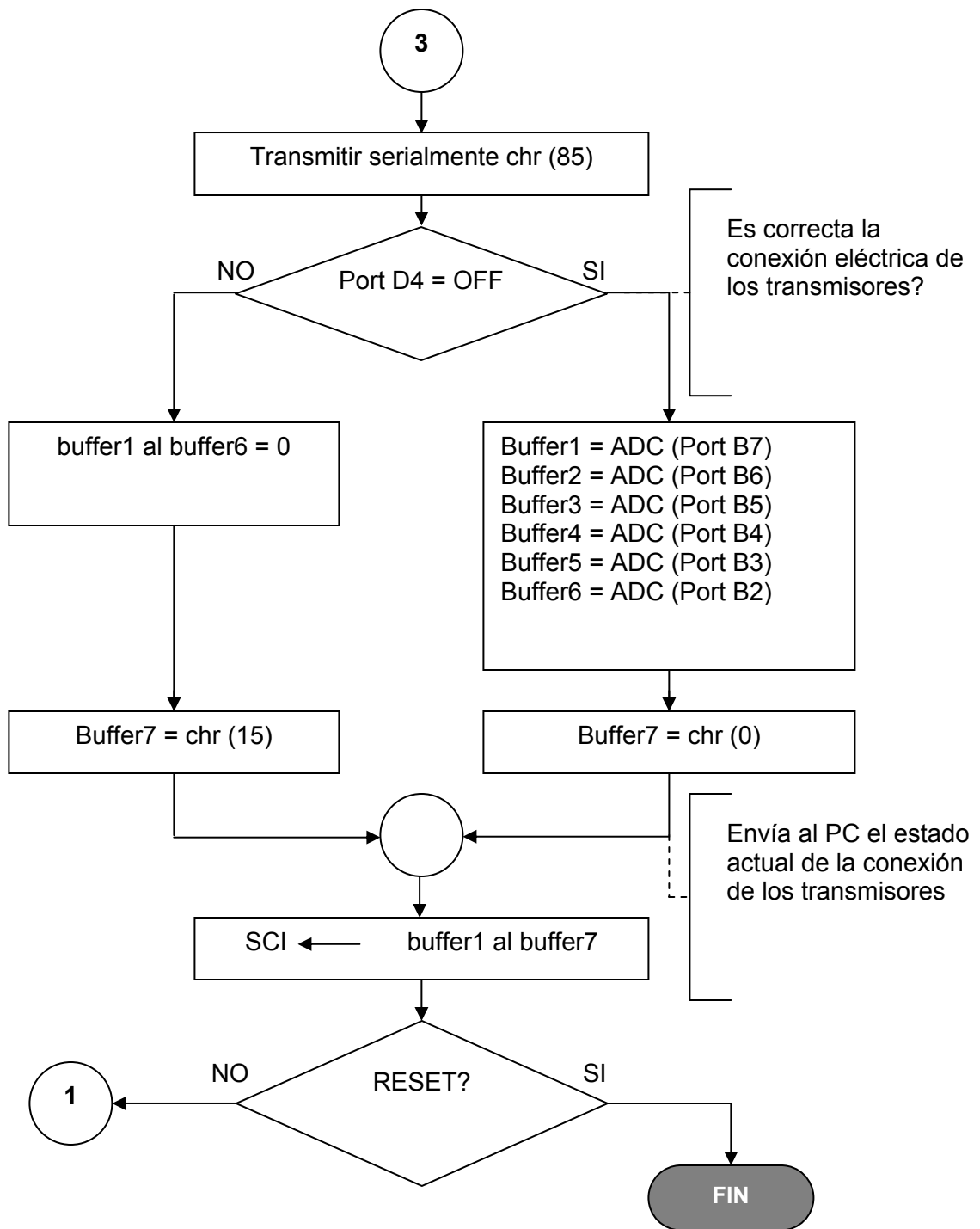


Figura 28. Diagrama de flujo del software residente en el microcontrolador (continuación).

Fuente: Autores

3.2 SOFTWARE IMPLEMENTADO EN EL COMPUTADOR

El software instalado en el computador sirve como interfaz entre el sistema de mando y el usuario, el cual muestra y permite modificar a través del accionamiento de válvulas las variables físicas presentes en el proceso para mantenerlas dentro de rangos seguros.

Para evitar al máximo un bloqueo en el computador, lo que resultaría en pérdida de tiempo y material, éste se dedico exclusivamente a la ejecución del programa de mando y supervisión de la simulación; evitando así que otros programas interfieran o consuman recursos del sistema necesarios para la correcta ejecución del programa.

3.2.1 Descripción del software de programación:

La interfaz software está diseñada en LabVIEW versión 6, programa cuya licencia está disponible en el Centro de Investigación del Gas (sede UIS Guatiguará).

El paquete de desarrollo de aplicaciones de medida y control LabVIEW está basado en el lenguaje de programación gráfica G, donde los programas reciben el nombre de Instrumentos Virtuales o VI's ^[12].

Un instrumento virtual es un módulo de *software* que simula el funcionamiento de un instrumento real. Estos VI's se dividen en dos partes: el panel frontal y el panel de funciones.

- El panel frontal es el puente de comunicación con el usuario, es decir, donde se encuentran los controles (salida de datos) e indicadores (entrada de datos) para el manejo del programa.
- El panel de funciones o de programación tiene el algoritmo del programa, que en un lenguaje convencional (Basic, C, Pascal, ensamblador), sería la escritura del código de programación. Para el caso del lenguaje G, la programación es totalmente gráfica.

LabVIEW además tiene incluidas bibliotecas para comunicación serial, las cuales se utilizaron frecuentemente en el presente proyecto.

3.2.2 Sinopsis del proceso de simulación a supervisar:

Una sesión completa de simulación de corrosión en un gasoducto consta de cuatro etapas secuenciales: burbujeo del electrolito, llenado del autoclave con electrolito, operación, y finalmente descarga o vaciado de los tanques.

- **Burbujeo o desaireación del electrolito:** Al iniciar el proceso se llena el tanque de mezcla con electrolito del cual se debe extraer el aire, lo que se consigue burbujeando el líquido con nitrógeno de alta pureza durante un periodo determinado según las características de la prueba.
- **Llenado del autoclave con electrolito:** Después que se tiene el electrolito sin aire disuelto, se presuriza el autoclave a la presión de simulación y el tanque de mezcla a una presión un poco mayor, para que al abrir la electroválvula que comunica los dos tanques exista un flujo de líquido del tanque de mezcla hacia el autoclave.

- **Operación:** Esta es la etapa de simulación propiamente dicha, periódicamente se retirará una cantidad de volumen de mezcla ácida contaminada (electrolito) del autoclave al tanque de alivio, y de igual manera se agregará el mismo volumen del tanque de mezcla al autoclave, esto garantizará la renovación con electrolito puro al autoclave.
- **Descarga o vaciado de los tanques:** La operación del sistema termina al transcurrir el tiempo programado para la simulación que típicamente es de días. Se procederá a despresurizar el sistema para análisis de las muestras del material afectado por la corrosión.

3.2.3 Programa de mando y supervisión del sistema de simulación:

Desde el inicio de elaboración del software se tuvo en mente que éste fuera suficientemente intuitivo incluso para un operario novato, de modo que resulte fácil de emplear y que los errores debidos a mal uso del programa sean poco probables.

Siguiendo ésta filosofía se implementó una interfaz grafica similar a la planta física real, para que mediante el accionamiento de las válvulas electro-neumáticas por el ratón o el teclado, y el monitoreo de las presiones y niveles de electrolito se mantengan las condiciones requeridas en el proceso.

El programa supervisará en todo momento la magnitud de las variables del proceso, de modo que en caso que salgan del rango establecido por el operario del sistema, este emitirá una alarma tanto sonora como visual para advertirlo y permitir su intervención para la debida corrección o reporte.

Adicionalmente se implementó una rutina de almacenamiento periódico en disco de los valores de las lecturas de las variables para su posterior estudio en cualquier programa de hoja de cálculo.

3.2.4 Diagrama de flujo del sistema de control:

Debido a la naturaleza gráfica del código en este paquete de programación, serían necesarias muchas imágenes para mostrar tan solo una rutina. Por tal razón, se muestra la secuencia de ejecución simplificada mediante un diagrama de flujo.

Desde el punto de vista de la programación de la interfaz, esta se divide en tres rutinas que se ejecutan paralelamente una vez activadas:

3.2.4.1 Rutina de ejecución y mando: Es el cuerpo principal del software, se muestra de las figuras 31 a la 36; incluye la inicialización del puerto serie, solicitud del nombre del historial, la activación de la segunda y tercera rutinas, además del control de las válvulas, lectura de los transmisores y por último la secuencia de terminación del software que incluye el cierre de sesión del puerto serie, y terminación de las otras ventanas y procesos pertenecientes al mismo programa.

3.2.4.2 Rutina de supervisión de los valores de presión, nivel y concentración de H₂S: Esta se representa por un bucle que constantemente y durante la ejecución del programa principal está supervisando que las lecturas provenientes de los transmisores localizados en la planta estén dentro del rango ingresado por el operario; en caso contrario se activarán las advertencias sonoras y visuales de que está provisto el algoritmo de mando y supervisión. El presente

bucle finalizará por medio de una variable que es modificada por la rutina de ejecución y mando anteriormente descrita.

3.2.4.3 Rutina de creación y visualización del archivo de historial: Como se muestra en la figura 37, puede ser modificado en su intervalo de muestreo, permitiendo ajustar la cantidad de datos almacenados en caso de requerirse un mayor o menor grado de detalle en el proceso de simulación.

El archivo obtenido como en la figura 29 tiene extensión .csv, que puede ser visualizado en cualquier aplicación de hoja de cálculo como Microsoft® Excel®; el archivo contiene un listado de los valores tomados durante la simulación con su respectiva hora.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Hora	Presion T Me	Volumen T M	Presion Auto	Concentracion	Presion T Ali	Volumen T Alivio(ml)		
2	9:29:10 AM	3068.8	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1185.9		
3	9:30:00 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1192.2		
4	9:35:00 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
5	9:35:38 AM	3052.2	1211.0	1443.1	71.8	1443.1	1204.7		
6	9:35:42 AM	3052.2	1211.0	1443.1	71.8	1443.1	1204.7		
7	9:35:48 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
8	9:35:54 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
9	9:36:00 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
10	9:36:06 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
11	9:36:12 AM	3052.2	1211.0	1443.1	71.8	1443.1	1204.7		
12	9:36:18 AM	3052.2	1211.0	1443.1	71.8	1443.1	1204.7		
13	9:36:24 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
14	9:36:30 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
15	9:36:36 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
16	9:36:42 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
17	9:36:48 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
18	9:36:54 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
19	9:37:00 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
20	9:37:06 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
21	9:37:12 AM	3052.2	1211.0	1443.1	71.8	1443.1	1204.7		
22	9:37:18 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		
23	9:37:24 AM	3052.2	1211.0	1435.3	71.8	1443.1	1204.7		

Figura 29. Apariencia típica de un archivo de historial. Fuente: Autores.

3.2.5 Secuencia de ejecución del programa de mando y supervisión:

Con el fin de ayudar a entender los ítems explicados de aquí en adelante, se muestra en la figura 30 el orden de aparición de las ventanas de dialogo del programa a partir del inicio del mismo hasta su finalización.

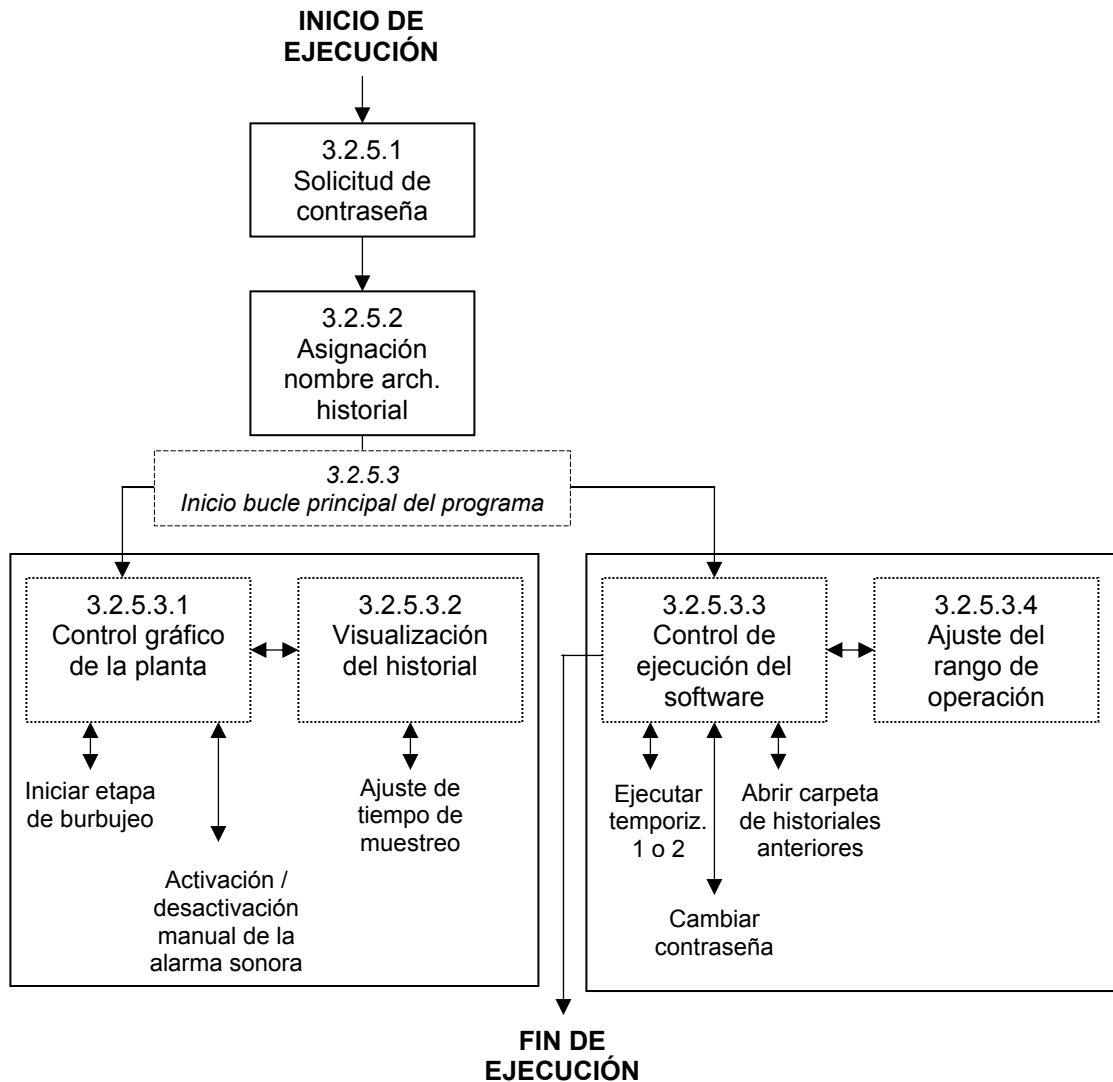


Figura 30. Secuencia de aparición de ventanas del programa de mando y supervisión.

Fuente: Autores

A continuación se comentan las principales etapas durante la ejecución del programa desde el punto de vista del operario.

3.2.5.1 Solicitud de contraseña: Después de una breve pantalla de bienvenida al entrar al programa, se exigirá una contraseña a quien desee hacer uso del sistema, dando tres oportunidades para ingresar una contraseña válida, en caso contrario la ejecución del software terminará, imposibilitando el uso del mismo.

Esta etapa se implementó para evitar el acceso del programa a personal no capacitado, el cual podría activar accidentalmente el paso de presión a un tanque sin estar debidamente cerrado, o la liberación del H₂S en la planta.

3.2.5.2 Asignación de nombre para el historial: En esta pantalla (figura 38) se puede cambiar el nombre asignado al archivo en que se guardarán los valores obtenidos de las variables a supervisar, por defecto el sistema lo nombrará con la fecha y horas actuales.

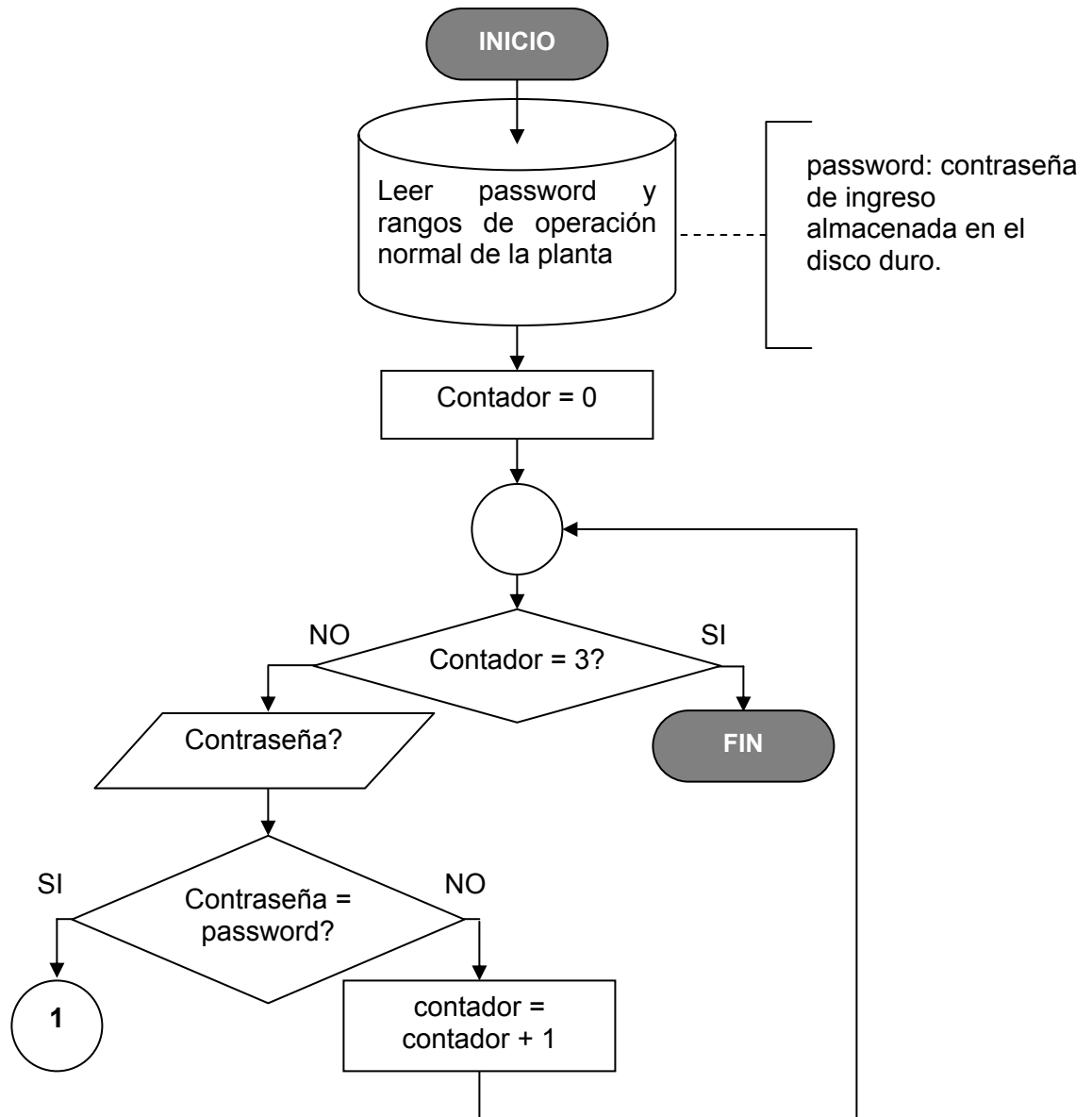


Figura 31. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW. Fuente: Autores.

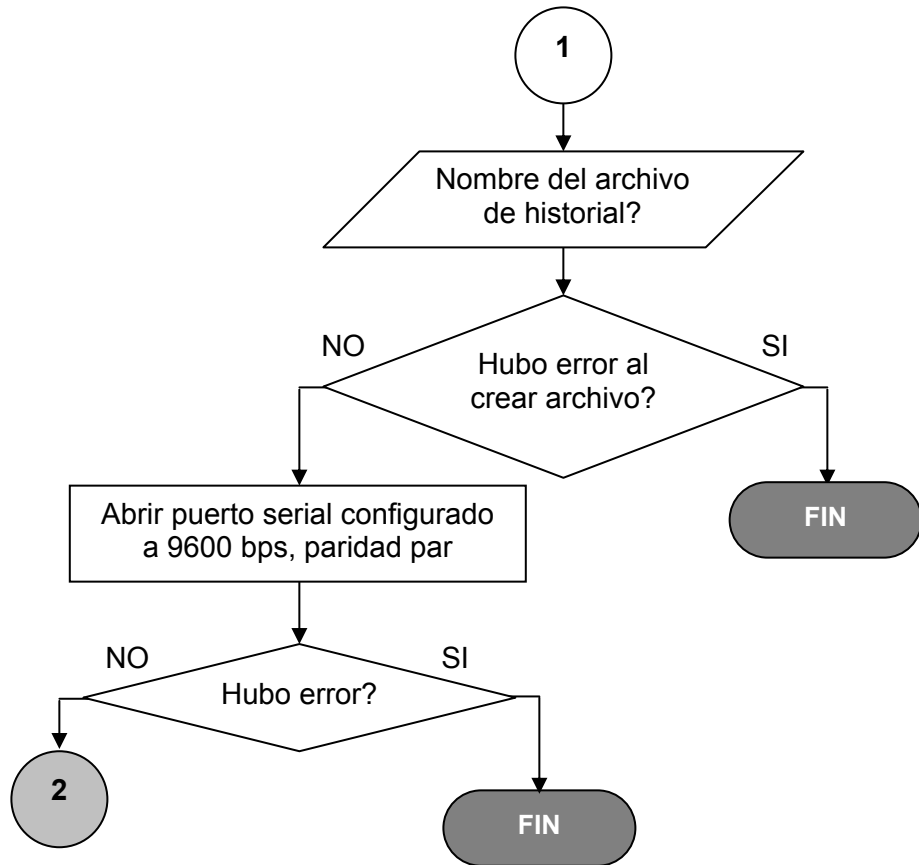


Figura 32. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).

Fuente: Autores.

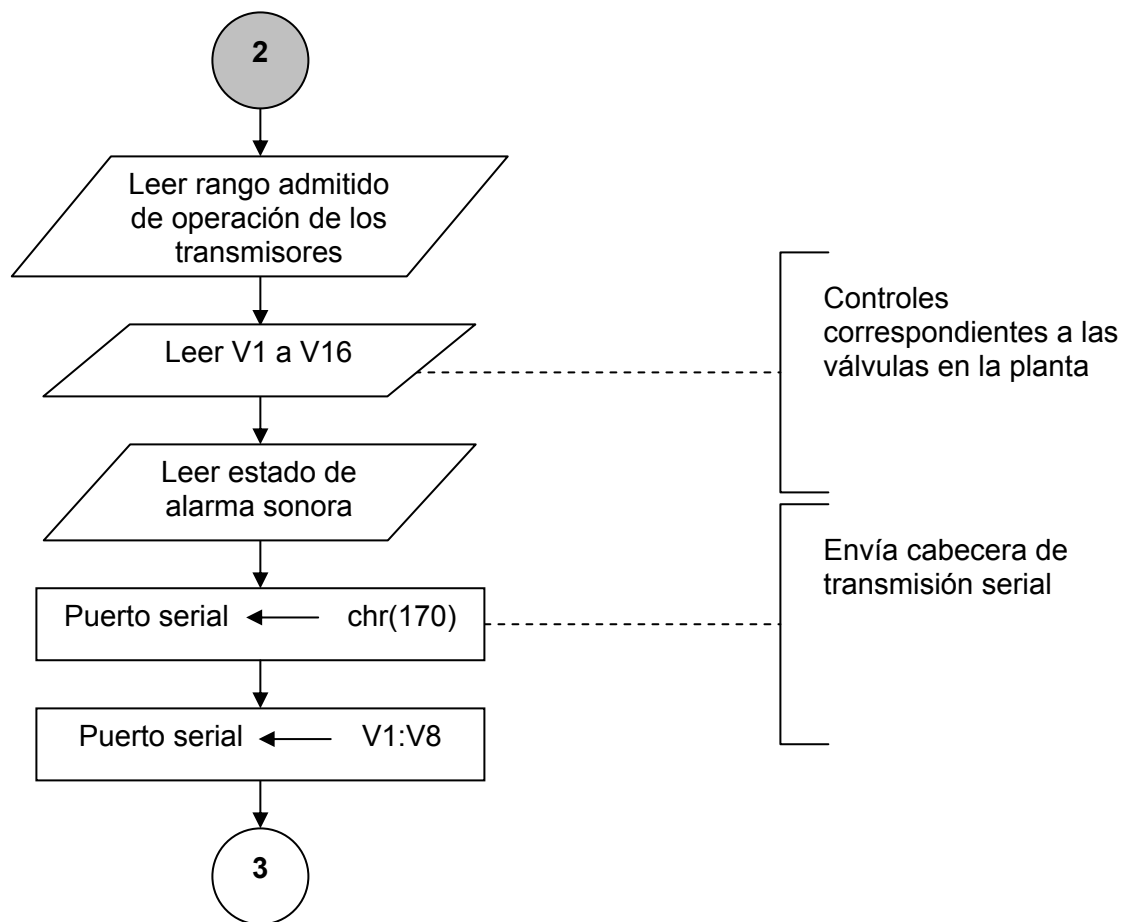


Figura 33. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).

Fuente: Autores.

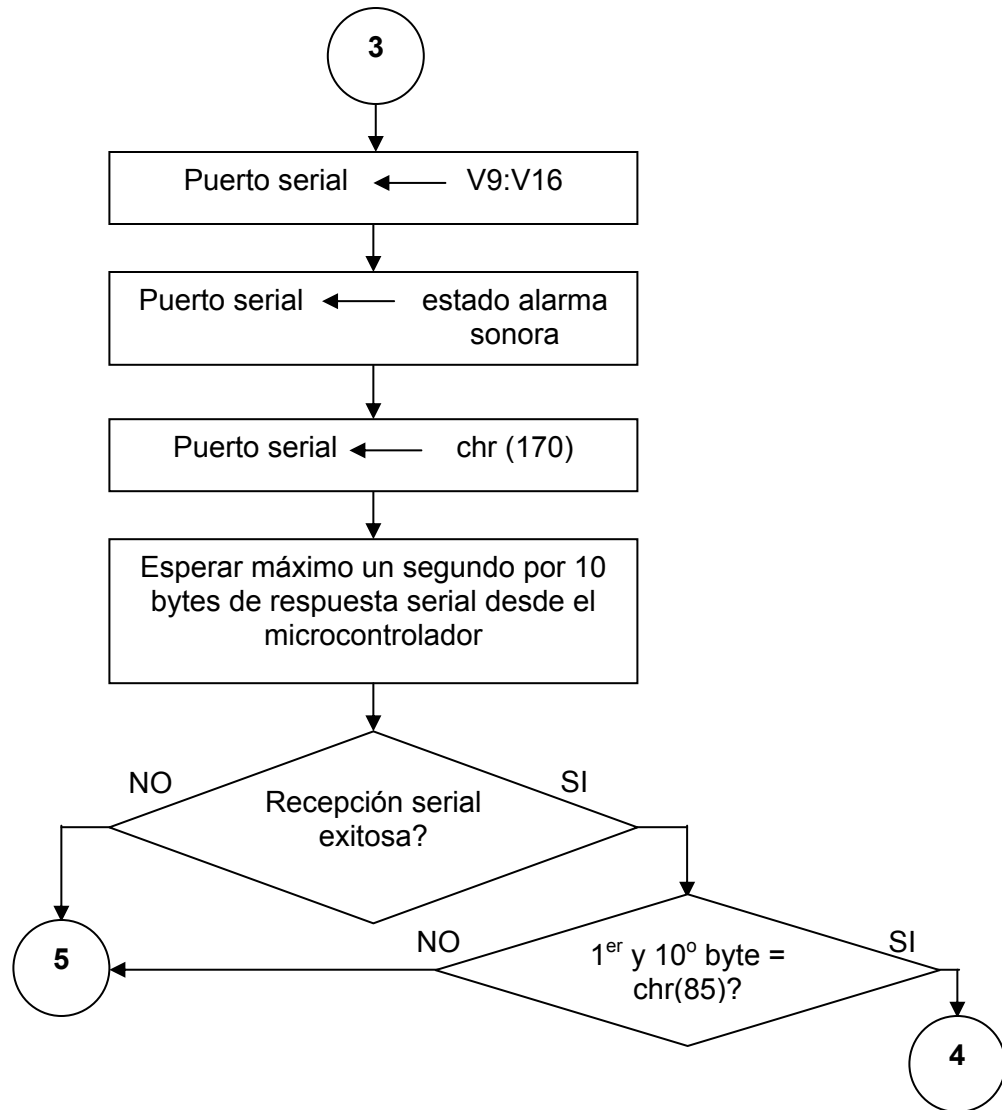


Figura 34. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).

Fuente: Autores.

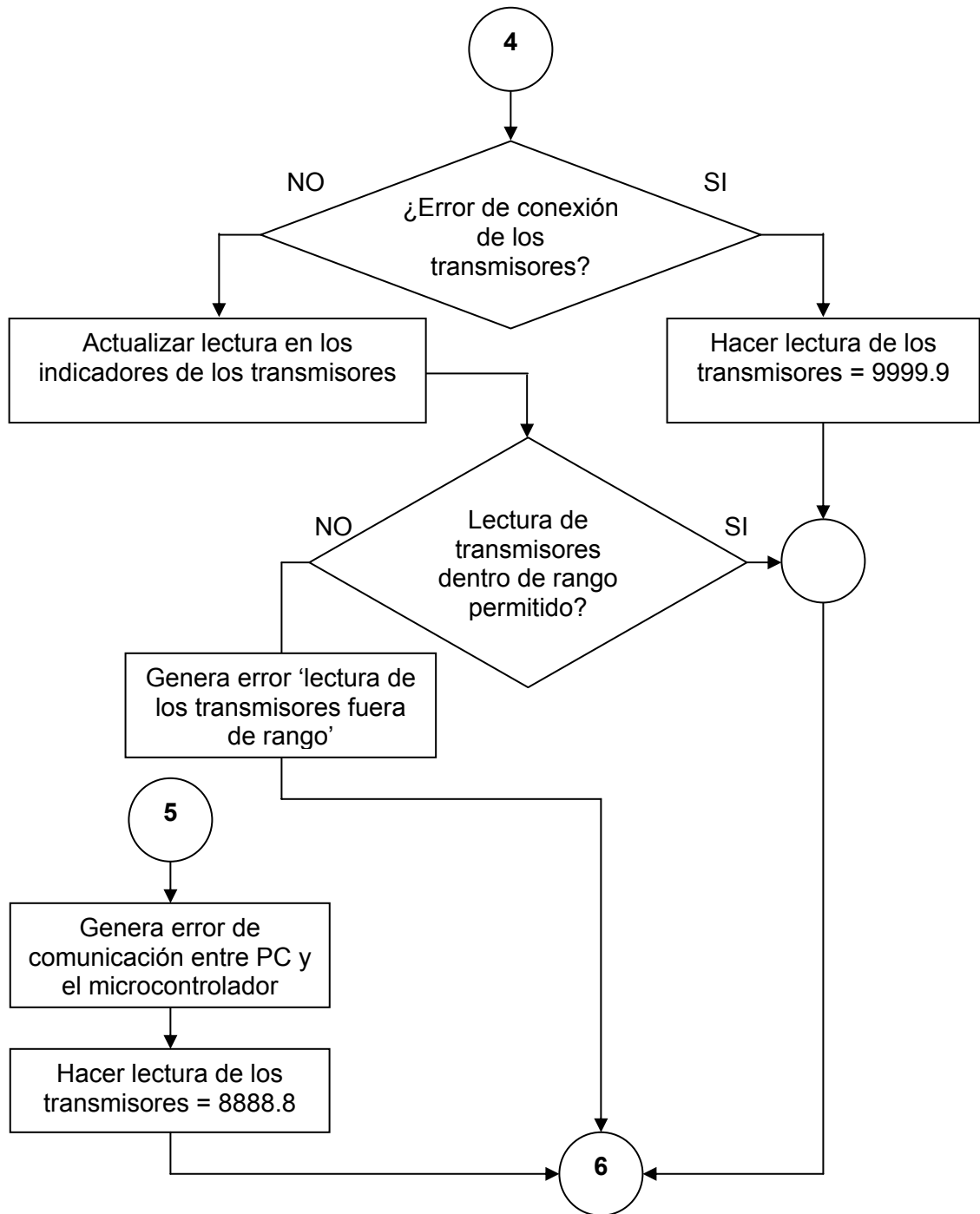


Figura 35. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).

Fuente: Autores.

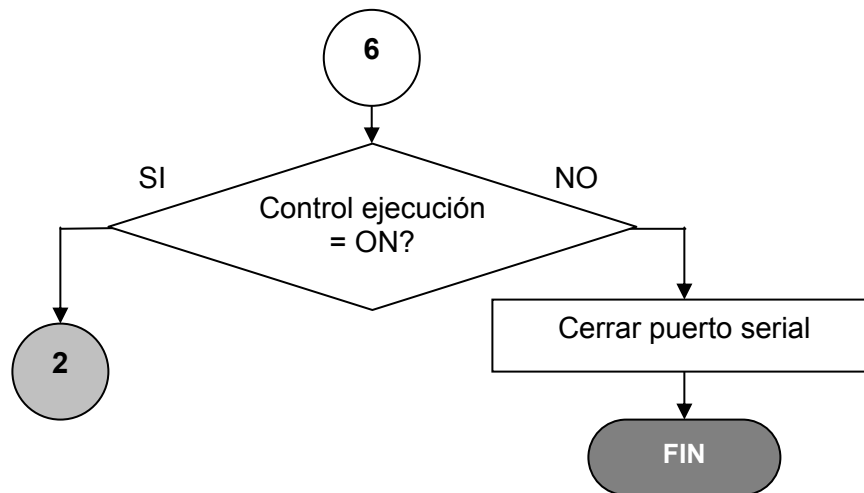


Figura 36. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW (Continuación).

Fuente: Autores.

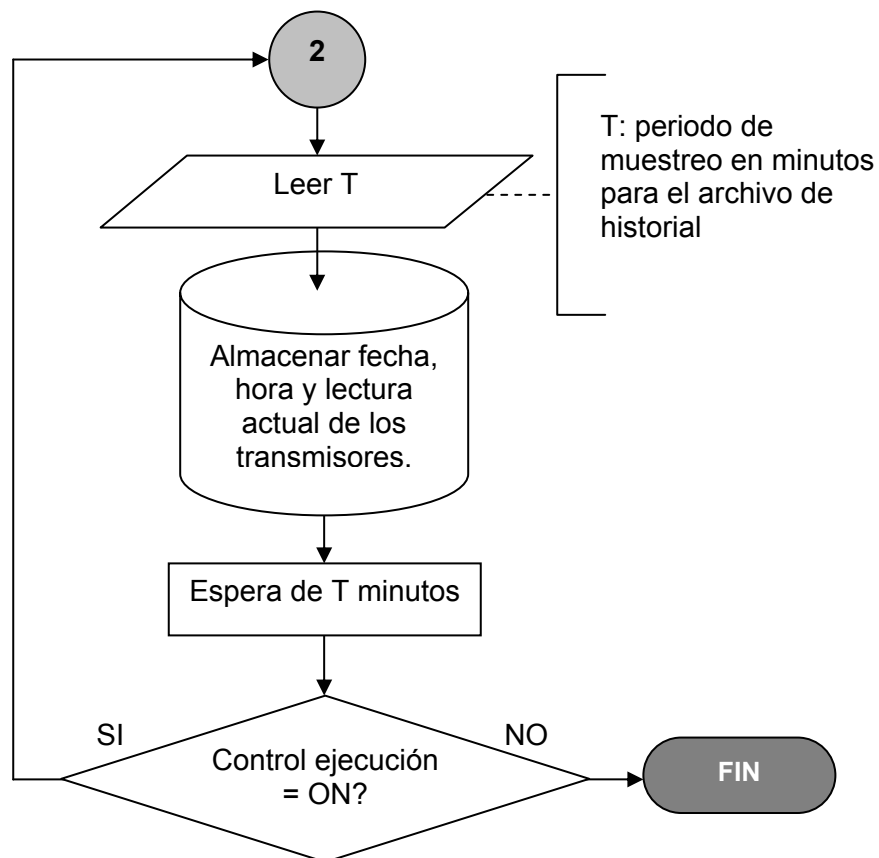


Figura 37. Diagrama de flujo simplificado del software escrito en LabVIEW: Proceso de toma de datos para el historial. Fuente: Autores.

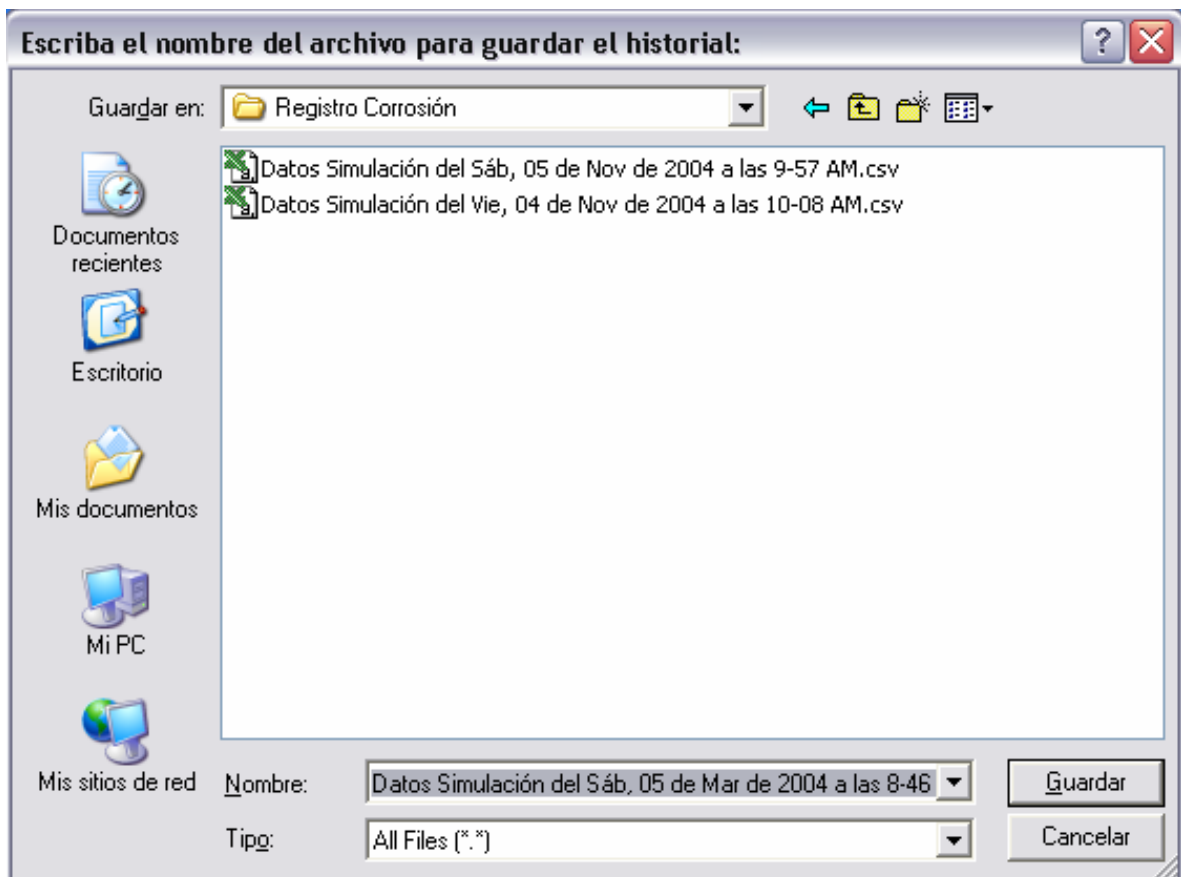


Figura 38. Pantalla de solicitud del nombre del historial. Fuente: Autores

3.2.5.3 Bucle principal de ejecución del programa: Este momento se reconoce por la aparición de una ventana adicional a la empleada hasta el momento, y el inicio del algoritmo de mando y supervisión propiamente dicho. En este momento el software ha establecido comunicación serial con la planta y se está en capacidad de controlar todas las etapas de la simulación: burbujeo, carga, operación y finalmente descarga o vaciado.

El manejo de esta ventana como cualquier otra dentro del programa es la estándar de Windows, se puede controlar haciendo clic sobre los iconos de las válvulas (nombrados consecutivamente de V1 a V16) o mediante el teclado: se selecciona el icono de la válvula deseada mediante la tecla TAB y se abre o cierra mediante la tecla INTRO.

3.2.5.3.1.1 Etapa de burbujeo: Esta etapa (figura 40) se identifica mediante la animación en el tanque de mezcla, el proceso puede realizarse con una mínima intervención del operario ya que después de confirmarse el inicio de la misma y el tiempo requerido de desaireación, el sistema activa las válvulas necesarias para que fluya N_2 por el tanque de mezcla (observar las válvulas en color gris de la misma figura), y termina automáticamente el proceso después de transcurrido el tiempo solicitado.



Figura 40. Pantalla típica de la etapa de burbujeo del software de mando y supervisión.

Fuente: Autores

3.2.5.3.2 Historial: Esta ventana que se reproduce en la figura 41, permite visualizar las lecturas tomadas de los transmisores a intervalos regulares los cuales se pueden modificar a través del control “Intervalo de muestreo”.



Figura 41. Pantalla de visualización y configuración de intervalo del historial en el software. Fuente: Autores

3.2.5.3.3 Control de ejecución: La siguiente ventana (Fig. 42) mostrará la fecha y hora actuales, también el tiempo transcurrido desde el inicio de la sesión de simulación; permitirá funciones complementarias como la visualización y edición de historiales anteriores, el cambio de la contraseña actual y la activación de temporizadores o cronómetros que resultan útiles durante las simulaciones de corrosión, y la finalización general del programa.



Figura 42. Pantalla de control de ejecución del programa de mando y supervisión. Fuente: Autores

3.2.5.3.3.1 Temporizadores: Esta opción resulta útil para llevar el control del tiempo transcurrido en cada etapa de la simulación, el operario puede controlar su duración además de terminar su conteo, momento en el cual el programa da un mensaje sonoro.

3.2.5.3.3.2 Abrir carpeta de historiales: Este botón abre el explorador de Windows en la carpeta donde el programa almacena los historiales de simulaciones finalizadas anteriormente para su visualización o análisis, información más detallada se expuso en el ítem 3.2.4.3.

3.2.5.3.3.3 Cambiar contraseña: Para emplear esta ventana es necesario conocer la contraseña actual para modificarla.

3.2.5.3.4 Ajuste del rango de operación normal de la simulación: Mediante esta ventana se modifican los rangos de operación considerados como aceptables para la operación normal de la simulación. Si se ingresara un valor que supere los mostrados en la tabla 25, el algoritmo mostrará esta condición y dará opción de corregir éste error.

Tabla 25. Valores máximos de operación dentro de la simulación.

VARIABLE	VALOR
Presión	2000 PSI
Volumen en los tanques	1600 ml
Concentración de H ₂ S	100 ppm

Como se observa en la figura 43, la magnitud de presiones y niveles en cada tanque se pueden asignar independientemente.

Mando y supervisión de una planta dedicada a simular corrosión AJUSTE DEL RANGO DE OPERACION

ingrese los limites en los que se debería mantener la operación:

	presión del tanque de mezcla	volumen del tanque de mezcla	presión del autoclave	concentración ambiental de H ₂ S	presión del tanque de alivio	volumen del tanque de alivio
limite superior	2000 psi	1600 ml	2000 psi	100 ppm	2000 psi	1600 ml
limite inferior	0 psi	0 ml	0 psi	0 ppm	0 psi	0 ml

Figura 43. Solicitud de parámetros de simulación. Fuente: Autores

4. PRUEBAS Y OBSERVACIONES

Durante el desarrollo de la etapa correspondiente al diseño, montaje y prueba de la tarjeta de control y adquisición de datos, se hizo un montaje provisional del circuito en protoboard, y un programa básico de comunicación en el PC para verificar su correcta comunicación con el futuro software de interfaz con el operario; en ésta fase se descubrieron algunas fallas en el circuito como:

- La etapa de potencia para el control de las válvulas electro-neumáticas operaba como se esperaba, aunque al activar las dieciséis válvulas al tiempo se presentaba sobrecalentamiento, lo que se resolvió usando un circuito impreso temporal con soldaduras, así no se presentaba calentamiento por efecto Joule en las conexiones.
- Otro problema que se encontró por mala continuidad del protoboard fue en el circuito de conversión de corriente a voltaje, pues en los contactos se descubrieron caídas de voltaje, suficientes para alterar la precisión de la conversión.

Después de verificar el correcto funcionamiento del hardware del sistema, se desarrolló el software definitivo de la interfaz en LabVIEW, se tiene las siguientes observaciones:

Se procedió a verificar que las lecturas mostradas en la interfaz correspondieran con los valores reales en la planta, esto se hizo comparando las lecturas de los manómetros manuales instalados en cada uno de los tanques con las correspondiente en el software, esta etapa fue exitosa

A continuación se comprobó la correcta operación de los transmisores de volumen: se hizo una calibración inicial de estos como se explica en el anexo A, y se extrajo mediante la válvula manual de desagüe del tanque una cantidad conocida de electrolito, se observó un error correspondiente a 5 ml por cada 100 unidades de volumen, lo que no resulta crítico en la simulación de corrosión.

Del transmisor de concentración de gas se hizo una prueba consistente en dejar escapar una pequeña dosis de gas en la planta y verificar un aumento en la lectura resultante, prueba exitosa, aunque no se dispuso de un aparato medidor para contrastar las lecturas.

En cuanto a las válvulas electro-neumáticas se hicieron ajustes principalmente en la parte neumática porque inicialmente la presión era insuficiente para controlarlas; se ajustó una presión de 40 PSI para el sistema de compresión de aire.

Finalmente se verificó la correcta operación de las rutinas de historial y de comprobación del rango en las lecturas de la planta:

En la figura 44 se reproduce el aspecto típico de un archivo de historial, en éste se pueden ver las columnas que representan las magnitudes de presiones, volúmenes y concentración además de la hora en que fue tomada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Hora	Presion T Me	Volumen T M	Presion Auto	Concentracion	Presion T Ali	Volumen T Al	Fuera de rango				
2	6:23 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
3	6:25 AM	1990.6	1593.7	1992.2	2	1992.2	1593.7					
5	6:25 AM	1990.6	1593.7	1992.2	2.2	1992.2	1593.7	- concentracion de H2S cerca a la planta (0.0-2.0)				
6	6:26 AM	1990.6	1593.7	1992.2	2.2	1992.2	1593.7	- concentracion de H2S cerca a la planta (0.0-2.0)				
7	6:26 AM	1990.6	1593.7	1992.2	2.2	1992.2	1593.7	- concentracion de H2S cerca a la planta (0.0-2.0)				
8	6:27 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
9	6:27 AM	8888.8	8888.8	8888.8	1.8	8888.8	8888.8					
10	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
11	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
12	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
13	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
14	6:28 AM	9999.9	9999.9	9999.9	1.8	9999.9	9999.9					
15	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
16	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
17	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
18	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
19	6:28 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
20	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
21	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
22	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
23	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
24	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
25	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
26	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
27	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
28	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
29	6:29 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
30	6:30 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
31	6:30 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
32	6:30 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
33	6:30 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					
34	6:30 AM	1990.6	1593.7	1992.2	1.8	1992.2	1593.7					

Figura 44. Archivo de historial. Fuente: Autores

Las lecturas de valor 8888.8 indican un problema de comunicación con la tarjeta de control / adquisición, que podría ser atribuido a una desconexión o apagado de la tarjeta de control. Cuando en el registro de tiene una lectura de 9999.9 el software indica un error en la conexión eléctrica de los transmisores; que como ocurrió inicialmente en las pruebas se debió a la desconexión de un transmisor de presión.

Cuando durante la supervisión de una prueba se tiene una lectura que sale del rango que el operario programó, el software alerta al operario mediante sonidos y un parpadeo periódico de la pantalla; además en la gráfica del historial y en la ventana de ejecución se muestra cual es la magnitud causante del error.

En la figura 45 se muestra una gráficas del historial en condiciones de operación normal en contraste con la figura 46 donde los valores de las lecturas exceden el rango programado (0 – 2ppm).

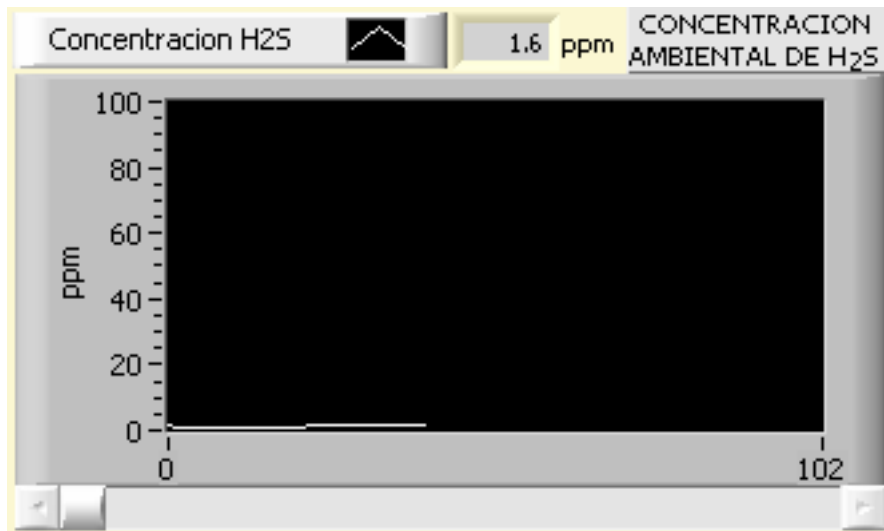


Figura 45. Gráfica de historial en rango normal. Fuente: Autores

Se puede notar que en caso de que una variable salga de rango se advertirá al usuario resaltando la línea correspondiente a su gráfica.

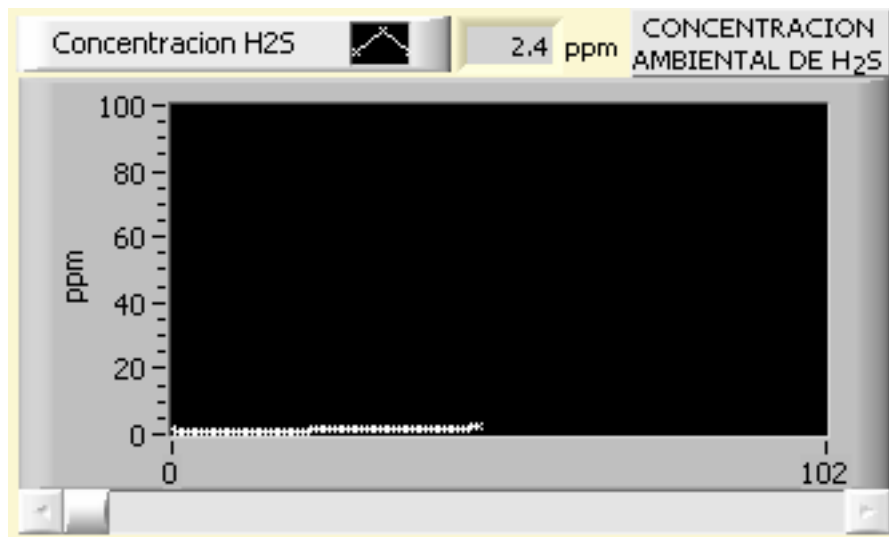


Figura 46. Gráfica de historial con lectura fuera de rango. Fuente: Autores

5. CONCLUSIONES

Generales:

El sistema implementado aumentó la seguridad en la planta piloto al permitir el monitoreo y regulación del proceso de simulación desde un sitio alejado y a prueba de explosión (sala de control), evitando la presencia del operario en el lugar donde están los tanques presurizados.

Gracias al diseño de la interfaz grafica el operario puede entender fácilmente el proceso de operación de la planta de simulación.

El software advierte al operario de fuga de sulfuro de hidrogeno o magnitudes fuera del rango preestablecido de presión o volumen en los tanques a través de alarmas sonoras y visuales.

Se diseñaron, integraron y comprobaron los módulos del proyecto como son: la tarjeta de control y adquisición de datos, y el software de interfaz hombre-maquina del sistema, probando su adecuado funcionamiento.

Se controló el acceso al programa mediante contraseña, para evitar el mando de la planta por personal sin conocimiento del riesgo de accidentes en caso de mal uso del sistema.

Se empleó LabVIEW como software de programación, elección que facilitó el desarrollo del algoritmo, ya que es un lenguaje gráfico y con rutinas de comunicación serial de fácil implementación.

Se diseñó la tarjeta de adquisición de datos con base en un microcontrolador, haciéndolo a medida de las necesidades específicas del proyecto, aunque dejando posibilidad de expansión en caso de una futura adición de componentes de control al sistema.

Para dar mayor tolerancia al ruido a todo el montaje, la tarjeta de control está encerrada en una caja metálica, y el cableado es trenzado y apantallado dándole un blindaje contra ruido externo producido principalmente por grandes motores de AC como el compresor de aire que está cerca del sistema.

Se comprobó que la comunicación serial permite hacer al sistema más confiable, es decir, menos susceptible a la interferencia eléctrica producida por equipos eléctricos cercanos a la planta, y con el beneficio adicional de simplificar en modo significativo el cableado entre la tarjeta de adquisición de datos y el PC.

El sistema queda protegido contra fallas esporádicas del suministro de energía gracias a la alimentación a través de una UPS, lo cual minimiza la necesidad de cancelar simulaciones ya iniciadas con su consecuente desperdicio de material de prueba.

Para el diseño de circuitos impresos se usó el programa para diseño de trazado de circuitos impresos “EAGLE Layout Editor Versión 4.09 para Windows” de Cadsoft Computer Inc. Con este software se hizo el diseño del circuito impreso a dos caras para evitar trazados largos sobre todo en la parte análoga de la tarjeta de control y adquisición.

Es necesaria una recalibración periódica del transmisor de nivel, ya que el solo hecho de emplear una composición diferente de electrolito modifica la constante dieléctrica en la sonda de medición, por ende la lectura resultante de nivel.

Especificas:

En caso de no tener ratón se puede usar el sistema con teclado, mediante la tecla [TAB] se selecciona el botón a accionar, con [Intro] se activa/desactiva, y con [Alt+TAB] se selecciona la ventana deseada.

El tiempo de burbujeo puede ser modificado en cualquier momento después de iniciado, gracias a una ventana que muestra tanto el tiempo transcurrido como el restante.

La calibración de los transmisores de nivel es manual, el procedimiento se explica en su correspondiente anexo.

Se emplearon transistores para aumentar al máximo la confiabilidad y el tiempo de operación sin fallos del sistema de control de las válvulas.

Para permitir futuras modificaciones en el software residente en el microcontrolador, éste último no se soldó directamente en el circuito impreso, sino que se montó en una base. Los demás componentes se soldaron directamente, en especial la parte de señal analógica para evitar que un mal contacto mecánico en una base altere las mediciones.

6. RECOMENDACIONES

- Cambiar los transmisores de nivel existentes por unos que empleen una tecnología de medición que requiera menor frecuencia de calibración, por ejemplo medición por ultrasonido.
- Acoplar un sistema eléctrico para constatar el estado real (abierto o cerrado) de las válvulas
- Se recomienda automatizar tanto las válvulas reguladoras de presión en el sitio de almacenaje de los cilindros contenedores de los gases empleados como la válvula de descarga para minimizar aun más la presencia del operario en el lugar físico de la simulación.
- Automatizar el proceso de regulación de presión mediante la implementación de sistemas de control digital de lazo cerrado como PID.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BARAJAS HERRERA** Edgar Javier y **SUÁREZ GARCÍA** Edgar Augusto. Construcción y montaje de un sistema electrónico de supervisión y control para el simulador de precipitación de hidratos bajo condiciones dinámicas, proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico, Bucaramanga, 2001. 268 p.
2. **BRISTOL BABCOCK**. Guidelines for System Grounding S1400. Watertown: Autor, 1998. 14 p. En: BRISTOL BABCOCK. User manuals. Watertown : Autor, 1999.
3. **BURR BROWN**. ISO150: Dual, Isolated, Bi-Directional Digital Coupler. Datasheet. Tucson: Autor, 1994. 10 p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://www.burr-brown.com/>
4. _____. RCV420: Precision 4 mA To 20 mA Current Loop Receiver. DataSheet. Tucson: Autor, 1997. 11 p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://www.burr-brown.com/>
5. _____. REF05: +5v Precision Voltage Reference. Datasheet. Tucson: Autor, 1993. 7 p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://www.burr-brown.com/>

6. BW TECHNOLOGIES. RRJ 4-20 mA H₂S Gas Monitor Transmitter with Sensor. Installation and Instruction Sheet. Arlington: Autor, 2004. 4p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://www.gasmonitors.com/>

7. CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. 6ª ed. México: Alfaomega, 1998, 750p.

8. DELTA CONTROLS CORPORATION. Model 171 probe type level transmitter. Datasheet. Shreveport: Autor, 2002. 2p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: www.deltacnt.com/00-17101.pdf

9. EMERSON PROCESS MANAGEMENT. Rosemount 3051S Series pressure transmitter Reference manual. Chanhassen: Autor, 2004. 84p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://www.rosemount.com/document/man/4801b00j.pdf>

10. ENGDAHL, Tomi, RS-232 surge protection. [Artículo en Internet]. <http://www.hut.fi/~then/> [Consulta: 4 de agosto de 2004]

11. FESTO AG & CO. The Pneumatic Catalog. [Página en Internet]. <http://catalog.festo.com/enu/asp/DefaultPSresult.asp?ID=4527&L=001> [Consulta: 14 de marzo de 2004]

12. LAZARO, Antonio Manuel. LabVIEW ® : programación gráfica para el control de la Instrumentación. Madrid: Paraninfo, 1997. 409 p.

13. NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. National semiconductor website CD edition, december 2001. [Versión en CD de la página web]. <http://www.national.com/> [Consulta: febrero de 2004]

14. MOTOROLA INC. Motorola MC68HC908GP32 Microcontroller Technical Data Rev. 6. Datasheet. Denver: Autor, 2002. 410 p. Documento electrónico (formato PDF). En: Internet: <http://motorola.com/semiconductors>

15. PEACOCK, Craig. Interfacing the Serial / RS232 Port V5.0. [Artículo en Internet]. <http://www.senet.com.au/~cpeacock>. [Consulta: 26 de febrero de 2004]

16. PHILIPS CONSUMER ELECTRONICS COMPANY. ECG Master Replacement Guide. 18th ed. Greenville: PHILIPS ECG, 1998. 338 p.

17. POWERCOM AMERICA INC. Powercom Vanguard VGD-3000 Tower Series On-Line UPS. [Página en Internet]. <http://www.powercom-usa.com/ProductDetail.asp?ID=4400> [Consulta: 14 de marzo de 2004]

18. TELEBYTE INC. Async RS-232 Opto Isolator [Artículo en Internet]. <http://www.telebyteusa.com/catalog/appnotes/a282.htm> [Consulta: 14 de marzo de 2004]

GLOSARIO

BV (VOLTAJE DE AVERÍA -BREAKDOWN VOLTAGE-): Voltaje máximo que se puede tener entre dos terminales de un transistor sin afectar a largo plazo su ganancia en DC.

BV_{CB0} : Voltaje de avería colector a base con el terminal de emisor abierto.

BV_{CE0} : Voltaje de avería colector a emisor con el terminal de base abierto.

BV_{EB0} : Voltaje de avería entre emisor y base con el terminal de colector abierto.

COMUNICACIÓN SERIAL: En informática, y en lo referente a la transferencia de datos, la transmisión en serie consiste en el envío de información de bit en bit a través de un único cable.

CORROSIÓN: Destrucción de un metal por reacción química o electroquímica con el medio ambiente. El proceso de corrosión requiere un ánodo y un cátodo en contacto eléctrico y una sustancia conductora como un electrolito. La corrosión ocurre una vez los electrones fluyen entre las áreas catódica y anódica, como resultado algunos de los elementos del metal o de la aleación cambian de un estado metálico a un estado no metálico, y el metal es corroído.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂): Gas incoloro, sin olor y con un ligero sabor ácido, el gas CO₂ seco no es por sí mismo corrosivo en las temperaturas que se encuentran dentro de sistemas de producción de gas y petróleo, pero cuando se disuelve completamente en agua forma ácido carbónico (H₂CO₃) el cual es muy corrosivo para el acero al carbono.

f_T: Frecuencia en Hertz a la cual la ganancia a pequeña señal (h_{FE}) en un transistor llega a la unidad.

h_{FE}: En el modelo a pequeña señal de un transistor es la ganancia de corriente en DC, o relación corriente de colector - corriente de base a un determinado voltaje colector-emisor.

LAZO DE TIERRA (GROUND LOOP): Efecto que puede aparecer si un dispositivo eléctrico tiene dos o más puntos diferentes de conexión a tierra. Los diferentes puntos de aterrizaje implican diferentes niveles de referencia lo que conlleva a inexactitudes en mediciones de tensión, esto a su vez genera corrientes indeseables que intentan equilibrar este desnivel.

PRUEBAS ELECTROQUÍMICAS PARA ESTUDIAR LA CORROSIÓN: Estas son ampliamente usadas debido a que la corrosión ocurre en ambientes acuosos y procede por un mecanismo electroquímico. Las dos cantidades que se usan para caracterizar una reacción electroquímica son la corriente y el potencial. En el procedimiento experimental se utiliza la celda de tres electrodos, conformada por el electrodo de prueba o especimen, el electrodo de referencia, y el electrodo

auxiliar o inerte que generalmente es de platino o de grafito puro, y un sistema de control en la variación del potencial o de la corriente.

PRUEBAS GRAVIMÉTRICAS DE CORROSIÓN: Son el tipo de pruebas más comunes para medir la velocidad de corrosión en los metales, el procedimiento de evaluación consiste en exponer una pieza del material bajo estudio a un ambiente agresivo por un periodo de tiempo específico. Como resultado del ataque corrosivo, la muestra pierde una fracción del material metálico mediante un proceso de disolución o a través de la formación de productos de oxidación que pueden eliminarse de la superficie mediante la limpieza cuidadosa de la pieza después de la prueba.

SULFURO DE HIDRÓGENO (H₂S): Es un gas incoloro que huele a huevos podridos. El sulfuro de hidrógeno es muy venenoso. Normalmente, el envenenamiento causado por el sulfuro de hidrógeno es por inhalación y tiene una toxicidad similar a la del cianuro. Se encuentra en el petróleo y el gas natural y a veces está presente en el agua subterránea. A concentraciones de 50-100 ppm (partes por millón), puede causar que el sentido del olfato falle, causar irritación ocular, vértigo, tos, y dolor de cabeza. A exposiciones altas (normalmente mayor que 300 ppm), el H₂S tiene el efecto asombroso de causar que la nariz deje de percibir su olor después de unas inhalaciones que pueden llevar a la absorción en dosis fatales, en estas condiciones el H₂S puede paralizar los pulmones haciendo que la víctima sea incapaz de escapar del gas sin ayuda.

TRANSIMPEDANCIA: En un circuito electrónico es la relación entre la tensión de salida y la corriente de entrada: V_{OUT} / I_{IN}

UPS (FUENTE/SISTEMA DE POTENCIA NO-INTERRUMPIBLE): Es un dispositivo electrónico que se coloca entre el suministro de energía eléctrica y la carga (por ejemplo un computador) para prevenir características no deseadas de la fuente de potencia como caídas de tensión, picos, sobretensiones o cortes, que puedan afectar o discontinuar el proceso ejecutado por la carga.

ANEXOS

ANEXO A

INSTRUCCIONES PARA LA CALIBRACIÓN DEL TRANSMISOR DE NIVEL DELTA CONTROLS MODELO 171

Al contrario de los transmisores de presión y concentración de gas que tienen calibración de fábrica, los transmisores de nivel requieren calibración manual debido a que el mismo dispositivo puede ser empleado con diferentes longitudes de sonda y combinación de líquidos lo que hace que en cualquier caso varíe la constante dieléctrica en el sensor. Además es aconsejable una recalibración periódica para asegurarse de tener lecturas correctas durante la simulación.

En la planta de simulación de corrosión se encuentran dos contenedores plásticos que protegen al circuito electrónico del transmisor de golpes y de la intemperie (figura A1).

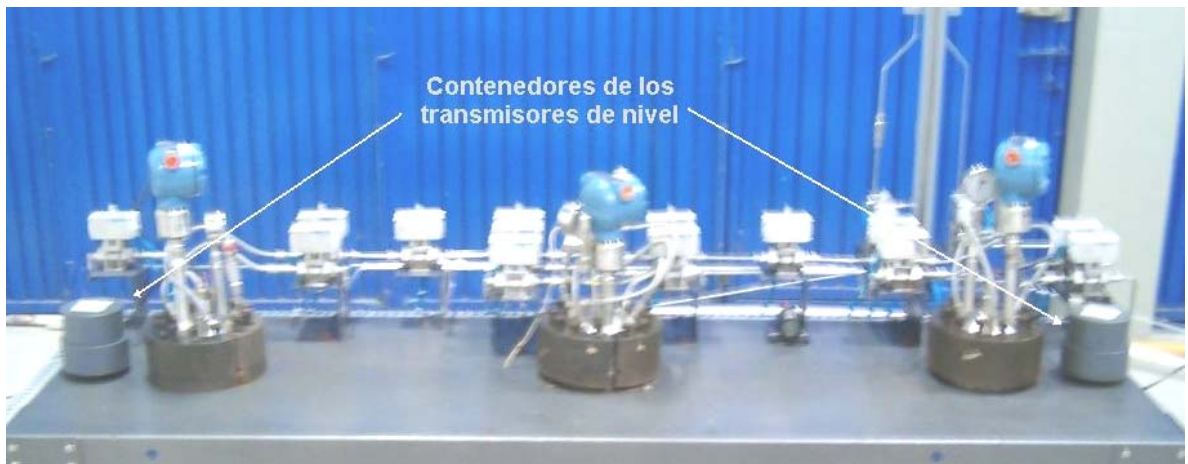


Figura A1. Ubicación de los transmisores de nivel en la planta de simulación. Fuente: Autores.

Al abrir el contenedor se pueden localizar tres controles como los mostrados en la figura A2:

El jumper de selección de rango (sensibilidad)

El potenciómetro de ajuste cero (salida a 4.0 mA DC)

El potenciómetro de ajuste de *span* (salida a 20.0 mA DC)

También se notará un indicador análogo de aguja que se suministra para simplificar la calibración.

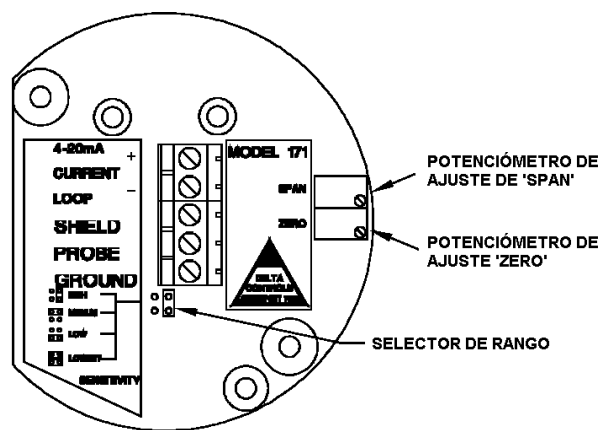


Figura A2. Ubicación de los controles de ajuste en los transmisores de nivel. Fuente: Hoja de datos.

El proceso de calibración de los transmisores de nivel consta de cuatro pasos:

1. Llene el tanque en proceso de calibración con electrolito a una altura suficiente como para cubrir aproximadamente ocho centímetros de la punta de la sonda de nivel, este nivel será considerado como el 0% de volumen en el tanque (tanque vacío).

2. Después de tapar el tanque, gire el potenciómetro de ajuste de cero hasta que el indicador de aguja muestre un nivel de 0% (señal de salida de 4.00mA DC).

3. Agregue al tanque 1600 ml de electrolito, este será el 100% del volumen del tanque. Cierre y ajuste el tanque.

4. Gire el potenciómetro de *span* hasta que la aguja del indicador esté en la posición de 100% (tanque lleno). * * NOTA * * si la aguja no llega en ningún caso al 100%, cambie el selector de rango a una sensibilidad mas baja y repita el proceso desde el paso 1.

En este punto la calibración esta hecha, el ajuste del *span* no deberá afectar el ajuste del 0%.

ANEXO B

CÓDIGO FUENTE PARA LA ANIMACIÓN DE LA VENTANA DE BIENVENIDA

La rutina de desplazamiento hacia arriba de la ventana inicial de bienvenida, aunque no tiene ningún fin práctico en el algoritmo general del sistema de mando y supervisión, demuestra el uso de los nodos de propiedad (*Property Node*) en LabVIEW, estos últimos sirven para obtener o modificar propiedades de un objeto VI, en este caso la posición en la pantalla de una ventana (los nodos de propiedad se muestran en la figura B1 como los cuadros amarillos con el icono de la llave).

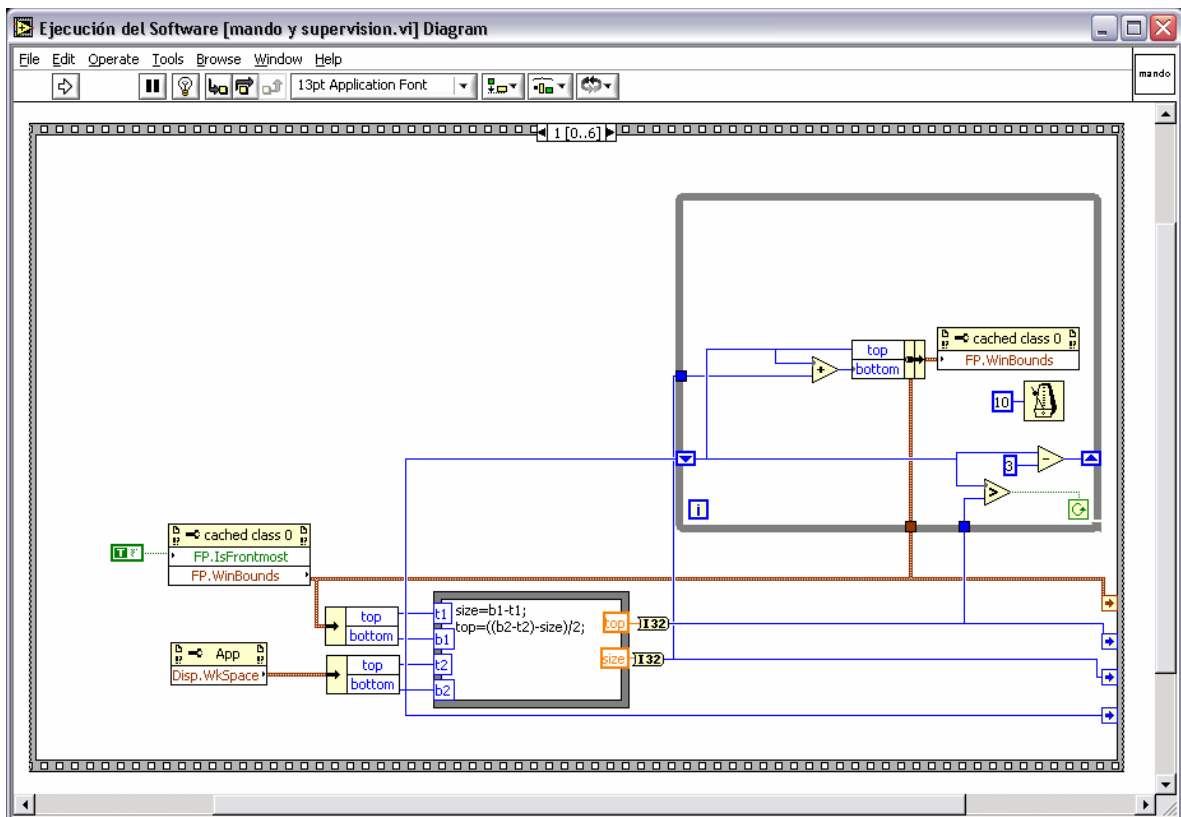


Figura B1. Extracto del código fuente en LabVIEW para la animación de la ventana de bienvenida. Fuente: Autores.

ANEXO C

PARÁMETROS USADOS EN LA CONFIGURACIÓN DEL PUERTO SERIE

En la figura C1 se muestran los parámetros dados a la configuración del puerto serial, por ejemplo: tiempo de espera de 1000 ms, 9600 baudios, datos de 8 bits, paridad par, y 1 bit de parada.

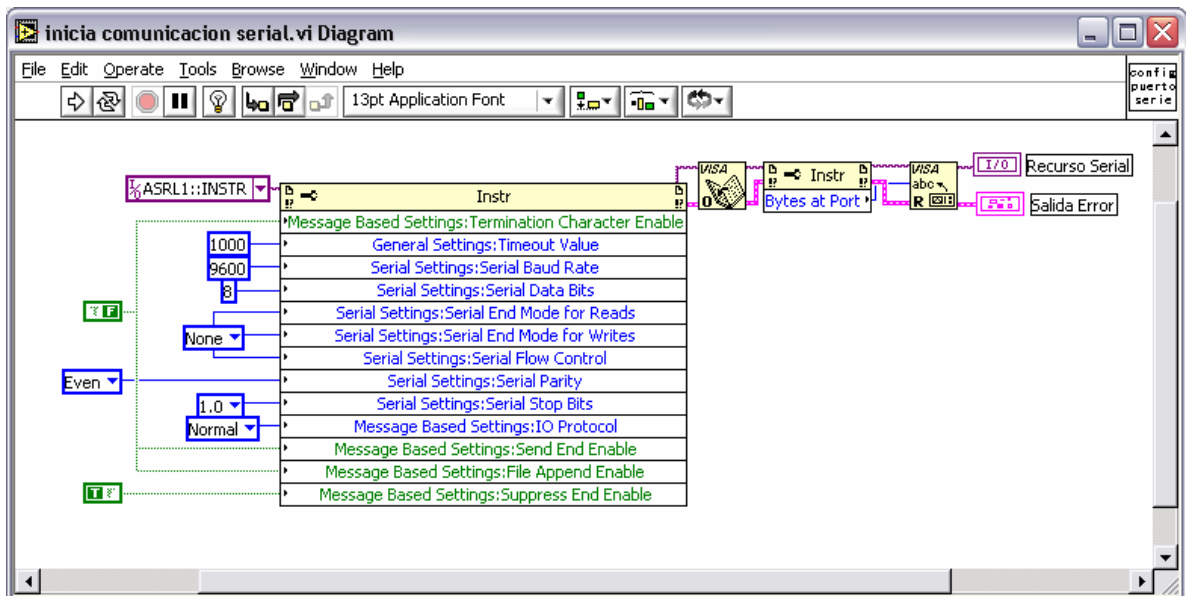


Figura C1. Extracto del código fuente en LabVIEW para la inicialización del puerto serie.

Fuente: Autores.

ANEXO D

ESTÁNDAR RS-232C

Estándar aceptado la Asociación de Industrias Eléctricas EIA, el estándar recomendado RS-232C (RS es acrónimo de *Recommended Standard*) define las líneas específicas (Fig. D1) y las características de señales que utilizan las tarjetas controladoras de comunicaciones, con el fin de estandarizar la transmisión de datos en serie entre dispositivos. La letra C indica que la versión actual de esta norma es la tercera de una serie.

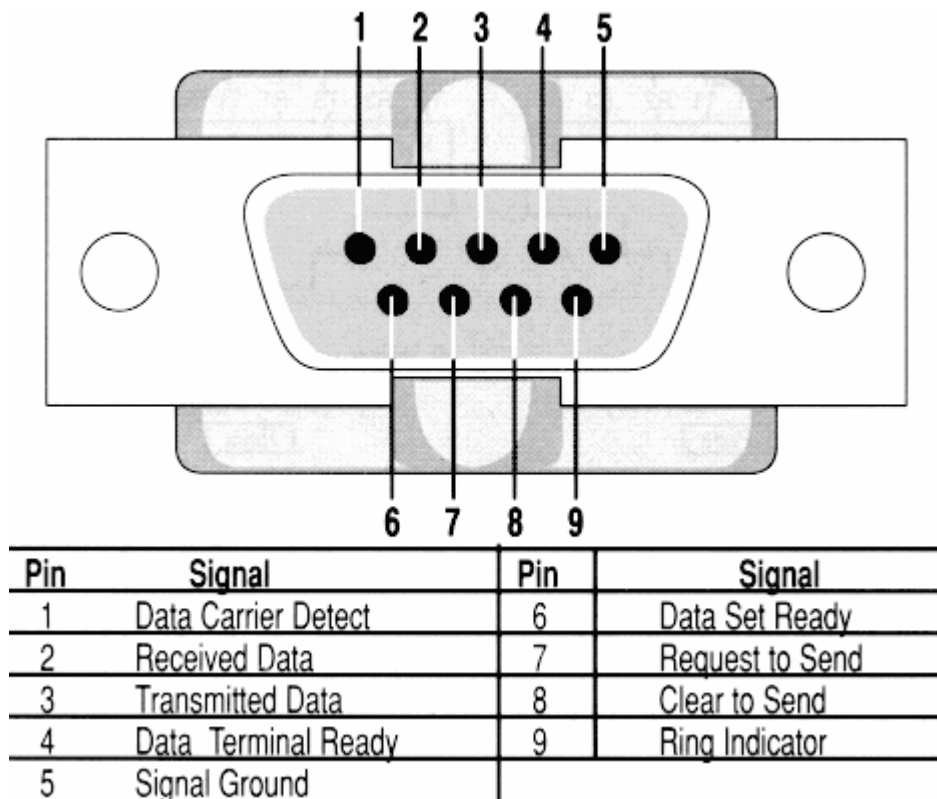


Figura D1. Pines de la Interface RS-232C. Fuente: <http://www.arcelect.com/rs232.htm>

ANEXO E

LISTA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS EMPLEADOS EN LA TARJETA DE ADQUISICIÓN Y CONTROL

A continuación se listan los componentes que constituyen la tarjeta de control y adquisición de datos.

Tabla E1. Componentes electrónicos empleados en la tarjeta de adquisición y control.

DESCRIPCIÓN	CANT.
CIRCUITOS INTEGRADOS	
uC Motorola MC68HC08GP32	1
MAX232	1
ISO150	1
RCV420	6
Referencia de voltaje REF02	1
Regulador de voltaje 24V (LM7824)	6
Regulador de voltaje 15V (LM7815)	1
Regulador de voltaje -15V (LM7915)	1
Regulador de voltaje 5V (LM7805)	2
Cristal de cuarzo 4.9152MHz	1
SEMICONDUCTORES	
Transistor NPN 2N2222	18
Diodos Schottky SR105	17
Diodos Led	17
Diodos Germanio 1N34	12
Diodos Zener 5v 1w	6
Puente rectificador 25 A	1
Puente rectificador 1.5 A	1
Diodo rectificador 3 A	2
Varistores 150V	3
CONDENSADORES	
Condensador electrolítico 1µF 50V	17
Condensador electrolítico 1µF 16V	12

Condensador electrolítico 100 μ F 50V	6
Condensador electrolítico 220 μ F 50V	4
Condensador electrolítico 300 μ F 16V	2
Condensador electrolítico 1000 μ F 35V	3
Condensador electrolítico 2000 μ F 50V	6
Condensador electrolítico 2000 μ F 16V	2
Condensador cerámicos 27pf	2
Condensador cerámico 0.1 μ F	1
Condensador tantalio 1 μ F	12
RESISTENCIAS	
Resistencia 1K Ω 1/4W	17
Resistencia 100 Ω 1/4W	6
Resistencia (510+20) Ω 1/4W	6
Resistencia 8K Ω 1/4W	1
Resistencia 10M Ω 1/4W	1
Trimmer 5K Ω	1
OTROS	
Conector DB9	1
Switch 1 polo con luz piloto de neón	1
Cooler 12V	1
Relé 24V	1
Borneras triples	19
Borneras dobles	25
Conectores MOL séxtuples	6
Conectores MOL triples	2
Base para microcontrolador	1
Transformador 110V - 24V 5A	1
Transformador 110V - +/- 17V 1A	1
Transformador 110V - 5V 1A	1
Pulsador reset	1
Portafusibles + fusible 0.25, 0.5, 1A 250V	3
Cables, soldadura, tornillos, pcb...	

ANEXO F
CODIGO FUENTE RESIDENTE EN EL MICROCONTROLADOR
MOTOROLA MC68HC08GP32

```

;*****
; Código fuente para el microcontrolador del proyecto CIG
;*****
; al inicio se dejan apagadas todas las válvulas

; con el empaque de 40 pines del GP32 se tiene:

; Port C tiene 5 bits: PTC0-PTC4
; Port D tiene 6 bits: PTD0-PTD5
; A,B 8 bits
; C 5 bits ----- C[5:6] internamente en corto !
; D 6 bits
; E 2 bits PTE0 Tx, PTE1 Rx

; un 1 logico es puerto de salida

;valvulas (salida)
; A =V1-V8
; C[0:4] =V9-V13
; D[0:2] =V14-V16

;entrada y salida de alarma
;D[3] salida de alarma
;D[4] entrada de alarma
;D[5] libre

; 6 entradas analogas
;B[2:7]
;B[0:1] libres, salidas digitales, para evitar entrada de ruido

;B7 in1
;B6 in2
;B5 in3
;B4 in4
;B3 in5
;B2 in6

$Include 'gpregs.inc'

COCO EQU $7 ; bit CONversion COMpleta
PLLON equ $5
RAMStart EQU $0040 ; Direccion de inicio de la RAM del GP32
RomStart EQU $8000 ; Direccion de inicio de la ROM del GP32
VectorStart EQU $FFDC ; inicio vectores de interrupcion

header EQU %10101010 ; cabecera de recepción - chr(170d)
header2 EQU %01010101 ; cabecera de transmisión - chr(85d)

```

```

ADC_B0      EQU  $7
ADC_B1      EQU  $6
ADC_B2      EQU  $5
ADC_B3      EQU  $4
ADC_B4      EQU  $3
ADC_B5      EQU  $2

```

```

    org RamStart

```

```

lectura_serial      ds 1
temp                ds 1
porta_temp          ds 1
portc_temp          ds 1
portd_temp          ds 1

```

```

sensor_error_corriente ds 1
libre                 ds 1

```

```

; almacenamiento temporal de las conversiones del ADC

```

```

T1      ds 1
T2      ds 1
T3      ds 1
T4      ds 1
T5      ds 1
T6      ds 1

```

```

*****
* Punto de inicio de ejecucion del programa *
*****

```

```

    org RomStart

```

```

inicio:

```

```

    rsp ;inicializa stack pointer
    mov #00001001,CONFIG1 ; deshab COP, 5V operacion
    bclr PLLON,PCTL ; apaga PLL

```

```

; un 1 logico es puerto de salida

```

```

;valvulas (salida)
; A      =V1-V8
; C[0:4] =V9-V13
; D[0:2] =V14-V16

```

```

;entrada y salida de alarma
;D[3] salida de alarma
;D[4] entrada de alarma
;D[5] libre

```

```

; 6 entradas analogas
;B[2:7]
;B[0:1] libres, salidas digitales, para evitar entrada de ruido

```

```

;B7 in1
;B6 in2
;B5 in3
;B4 in4
;B3 in5

```

```

;B2 in6

; configuracion puertos:
; para evitar glitch primero se escribe dato,
; despues se define direccion entrada o salida

; todas las valvulas en 0 (cerradas)

        clr x                ; se debe inicializar registros A y X para evitar
reset cuando
        clr a                ; se usa la pila (stack) y se guarda A, X

        sta PORTA
        sta PORTB
        sta PORTC
        sta PORTD

; configuracion direccion entrada/salida de los pines

; un 1 logico es puerto de salida
; clra ya está
; el mismo valor del acumulador sirve para la direccion de datos (salida)

        deca
        sta ddra

; 6 entradas analogas: puerto B[2:7]

;B7 in1
;B6 in2
;B5 in3
;B4 in4
;B3 in5
;B2 in6

        mov #%00000011,ddrb   ; B[0:1] salidas digitales, para evitar entrada
de ruido                       ; al ADC

        mov #%00011111,ddrc   ; se configuran como entradas c[5:6], ya que
están en corto

        mov #%11101111,ddrd   ; configura d[4] como entrada para la alarma

                                ; D[6:7] están internamente desconectados:
                                ; dejarlos como salida para evitar ruido

; activa el puerto de comunicacion asincrona (serial)
; y lo configura a 9600 baudios 8 bits de datos, un bit de parada con
paridad par

        mov  #%00000011,SCBR   ; 9600 baudios
        mov  #%01010010,SCC1   ; activa el modulo SCI /9bits,parid par
        mov  #%00101100,SCC2   ; habilita tanto recepcion como transmision.

; la frec del reloj ADC debe ser aprox 1Mhz

```

```

mov    #%01100000,ADCLK           ; Frec cristal/8 = 4.9152Mhz/8 ~ 600Khz

bucle_principal:

*****
*   espera interrupcion serial por cada byte recibido del PC   *
*****

; cheq header

        wait                ; espera int serial, ademas activa interrupciones
        lda lectura_serial
        cmp #header
        bne bucle_principal

;espera 1er byte
;valvulas (salida)
; PortA      =V1-V8

        wait
        mov lectura_serial,porta_temp

;espera 2do byte
;valvulas (salida)
; C[0:4]    =V9-V13
; D[0:2]    =V14-V16

        wait                ; se debe dividir lectura serial en portc y portd:
        mov lectura_serial,portc_temp
        mov lectura_serial,portd_temp
        lsr portd_temp
        lsr portd_temp
        lsr portd_temp
        lsr portd_temp
        lsr portd_temp

;espera 3er byte
wait ; activacion de la alarma
mov lectura_serial,temp
lsl temp
lsl temp
lsl temp
lda temp
ora portd_temp
sta portd_temp

wait
lda lectura_serial
cmp #header
bne bucle_principal

; en este momento la recepcion ha sido exitosa
; => se envian los datos almacenados a puertos

;se deben deshabilitar interrupciones seriales

        mov porta_temp,porta

```

```

        mov portc_temp,portc

        mov portd_temp,portd

; chequea que el pin sensor de error en el rango de corriente de
; los transmisores no este activada...

        brset 4,portd,error_rango_corriente_transmisores

; si no hay alarma inicia la conversion A/D
; de las entradas analogas provenientes de los transmisores...

        mov    #ADC_B0,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T1

        mov    #ADC_B1,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T2

        mov    #ADC_B2,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T3

        mov    #ADC_B3,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T4

        mov    #ADC_B4,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T5

        mov    #ADC_B5,ADSCR
        jsr espera_termina_conversion
        mov ADR,T6

        clra

        sta sensor_error_corriente    ; el sensor de error en corriente de
                                        ; los transmisores no esta activo

        sta libre

enviar:
        lda    #header2
        jsr enviar_SCI

        lda    T1
        jsr enviar_SCI

        lda    T2
        jsr enviar_SCI

        lda    T3
        jsr enviar_SCI

        lda    T4
        jsr enviar_SCI

```

```

        lda    T5
        jsr  enviar_SCI

        lda    T6
        jsr  enviar_SCI

        lda    sensor_error_corriente
        jsr  enviar_SCI

        lda    libre
        jsr  enviar_SCI

        lda    #header2
        jsr  enviar_SCI

        jmp  bucle_principal

```

error_rango_corriente_transmisores:

```

        clra
        sta  T1
        sta  T2
        sta  T3
        sta  T4
        sta  T5
        sta  T6
        sta  libre
        mov  #%00001111,sensor_error_corriente
        jmp  enviar

```

```

*****
* fin del bloque principal *
*****

```

```

*****
* Encuesta el modulo ADC y retorna cuando se termina la conversion actual *
*****

```

```

espera_termina_conversion:
        brclr COCO,ADSCR,espera_termina_conversion
        rts

```

```

*****
* enviar_SCI *
*****
enviar_SCI

```

```

        brclr 7,scs1,$ ;paso necesario para transmision: ver docs
        sta  scdr
        brclr 6,scs1,$      ; espera mientras el transmisor termina
        rts

```

```

*****
* llego_dato - se lleno el buffer Rx *
*****

```

```

llego_dato:

    nop
    brclr 5,scs1,$
    nop
    mov scdr,lectura_serial
    rti

*****
* retorna de una interrupcion no implementada *
*****
sin_implementar:

    rti

*****
* Vectores de interrupcion *
*****
    org  VectorStart

    dw  sin_implementar    ; Vector de base de Tiempo
    dw  sin_implementar    ; ADC CONversion COmplete
    dw  sin_implementar    ; Vector del teclado
    dw  sin_implementar    ; Vector de transmision SCI
    dw  llego_dato         ; Vector de recepcion SCI
    dw  sin_implementar    ; Vector de error SCI
    dw  sin_implementar    ; Vector de transmision SPI
    dw  sin_implementar    ; Vector de recepcion SPI
    dw  sin_implementar    ; Vector de desbordamiento (Overflow) TIM2
    dw  sin_implementar    ; Vector TIM2 canal 1
    dw  sin_implementar    ; Vector TIM2 canal 0
    dw  sin_implementar    ; Vector de desbordamiento de TIM1
    dw  sin_implementar    ; Vector TIM1 canal 1
    dw  sin_implementar    ; Vector TIM1 canal 0
    dw  sin_implementar    ; Vector PLL
    dw  sin_implementar    ; Vector /IRQ1
    dw  sin_implementar    ; Vector SWI
    dw  inicio             ; Vector de reset

```

MANUAL DE USUARIO

SOFTWARE DE MANDO Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA A ESCALA PILOTO PARA MEDIR CORROSIÓN EN GASODUCTOS



Bucaramanga

2005

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. REQUISITOS MÍNIMOS PARA INSTALAR EL SOFTWARE DE MANDO Y SUPERVISIÓN	2
2. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA	3
3. OPERACIÓN DEL PROGRAMA	4
3.1 Solicitud de contraseña	5
3.2 Asignación de nombre para el historial	6
3.3 Bucle principal de ejecución del programa	7
3.3.1 Control gráfico de la planta	7
3.3.1.1 Etapa de burbujeo	8
3.3.2 Historial	9
3.3.3 Control de ejecución	10

3.3.3.1 Temporizadores	11
3.3.3.2 Abrir carpeta de historiales	11
3.3.3.3 Cambiar contraseña	12
3.3.4 Ajuste del rango de operación normal de la simulación	12
4. INSTRUCCIONES PARA LA DESINSTALACIÓN DEL SOFTWARE	14
5. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS	15
ANEXO A: INSTRUCCIONES PARA LA CALIBRACIÓN DEL TRANSMISOR DE NIVEL DELTA CONTROLS MODELO 171	16
ANEXO B: VERIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN / CONTROL	19
ANEXO C: DIAGRAMAS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN / CONTROL	20

INTRODUCCIÓN

La planta de simulación de corrosión en gasoductos se controla a través de una interfaz gráfica con la cual se aumentó la seguridad de la planta piloto. Mediante este software se permite el monitoreo y regulación manual del proceso de simulación desde un lugar distante y seguro para el operario (sala de control), evitando la presencia de personas en el lugar donde están los tanques presurizados.

Desde el inicio de elaboración del software se tuvo en mente que éste fuera suficientemente intuitivo incluso para un operario novato, de modo que resulte fácil de emplear y que los errores debidos a mal uso del programa sean poco probables. Siguiendo ésta filosofía se implementó una interfaz grafica similar a la planta física real, para que mediante el accionamiento de las válvulas electro-neumáticas por el ratón o el teclado, y el monitoreo de las presiones y niveles de electrolito se mantengan las condiciones requeridas en el proceso.

A continuación se hace una presentación del software incluyendo los requisitos para su instalación y solución a problemas que se pueden encontrar durante la ejecución del programa.

1. REQUISITOS MÍNIMOS PARA INSTALAR EL SOFTWARE DE MANDO Y SUPERVISIÓN

El software se ejecutará exitosamente en un computador dedicado que tenga conectada la tarjeta de control y adquisición diseñada específicamente para el sistema y que cumpla los siguientes requisitos:

- Instalación funcional de Microsoft ® Windows 98 ® o posterior.
- Procesador Intel® Pentium II® o compatible a 500MHz o superior.
- 64MB de RAM.
- Tarjeta de video con profundidad de colores de al menos 16 bits y resolución de 800 X 600 píxeles.
- Puerto serial libre que cumpla el estándar RS-232C.
- Tarjeta de sonido.
- Unidad de CD-ROM (para la instalación inicial).
- Ratón (recomendado pero no indispensable).



Se recomienda que el operario del programa tenga los conocimientos necesarios sobre el funcionamiento de la planta física para evitar accidentes.

2. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

El proceso de instalación del programa es iniciado automáticamente al insertar el CD en el computador (en caso contrario ejecute el programa *setup.exe* en la carpeta *disks* dentro del CD), este proceso instala tres programas:

- **Interfaz Gráfica:** Software de mando y supervisión.
- **LabVIEW 6.0 Run-Time Engine:** Motor de ejecución de la interfaz (indispensable si no se tiene instalado LabVIEW).
- **NI VISA Runtime:** Controlador de National Instruments para la configuración avanzada del puerto serial.

Siguiendo las instrucciones que aparecen en pantalla con los valores por defecto se obtendrá una configuración correcta del programa.

3. OPERACIÓN DEL PROGRAMA

Antes de ejecutar el programa se debe:

- ✓ Encender la tarjeta de control y adquisición que esta en la planta de simulación.
- ✓ Revisar que los transmisores de volumen estén calibrados (ver anexo).
- ✓ Verificar que los tanques que se vayan a presurizar estén correctamente sellados.

A continuación, en el computador se accede al programa a partir de **Menú Inicio > Programas > mando y supervisión > supervisión**



Se recomienda que el operario del programa tenga los conocimientos necesarios sobre el funcionamiento de la planta física para evitar accidentes.

A continuación se describen las principales etapas durante la ejecución del programa:

Con el fin de ayudar a entender los ítems explicados de aquí en adelante, se muestra en la figura 1 el orden de aparición de las ventanas de dialogo del programa a partir del inicio del mismo hasta su finalización.

sin estar debidamente cerrado, o la liberación del H₂S en la planta.

3.2 **Asignación de nombre para el historial:**

En esta pantalla (figura 2) se puede cambiar el nombre asignado al archivo en que se guardarán los valores obtenidos de las variables a supervisar, por defecto el sistema lo nombrará con la fecha y horas actuales.

En caso de que la fecha u hora no concuerden con las reales por favor ajuste esto en Windows

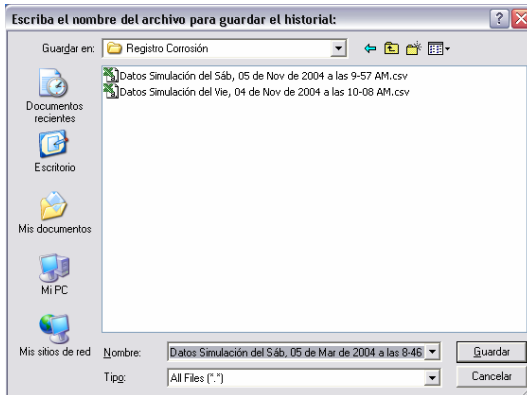


Figura 2. Pantalla de solicitud del nombre del historial.

3.3 Bucle principal de ejecución del programa:

Este momento se reconoce por la aparición de una ventana adicional a la empleada hasta el momento, y el inicio del algoritmo de mando y supervisión propiamente dicho. En este momento el software ha establecido comunicación serial con la planta y se está en capacidad de controlar todas las etapas de la simulación: burbujeo, carga, operación y finalmente descarga o vaciado.



ADVERTENCIA: Todas las válvulas se cerrarán al llegar a este punto del programa.

El manejo de esta ventana como cualquier otra dentro del programa es la estándar de Windows, se puede controlar haciendo clic sobre los iconos de las válvulas (nombrados consecutivamente de V1 a V16) o mediante el teclado: se selecciona el icono de la válvula deseada mediante la tecla TAB y se abre o cierra mediante la tecla INTRO.

3.3.1 Control gráfico de la planta:

Es la ventana que aparece en primer plano al iniciar la simulación (Fig. 3), será la más importante desde el punto de vista del operario, pues es la que permite la visualización, control y supervisión de la operación en la planta física, cuenta con opciones como iniciar la etapa

de burbujeo, ocultar la nomenclatura o el estado (abierto/cerrado) de las válvulas, además de la activación o desactivación manual de la alarma sonora, la cual se activa automáticamente al detectarse lecturas en los transmisores fuera del rango configurado como de operación normal. Desde esta ventana se puede alternar a la ventana de visualización y ajuste de periodo de muestreo del historial.



Figura 3. Pantalla principal del software de mando y supervisión.

3.3.1.1 Etapa de burbujeo:

Esta etapa (figura 4) se identifica mediante la animación en el tanque de mezcla, el proceso puede realizarse con una mínima intervención del operario ya que después de confirmarse el inicio de la misma y el tiempo requerido de desaireación, el sistema activa las válvulas necesarias para que fluya N_2 por el tanque de mezcla (observar las válvulas en color gris de la misma figura), y termina

automáticamente el proceso después de transcurrido el tiempo solicitado.



Figura 4. Pantalla típica de la etapa de burbujeo del software de mando y supervisión.

3.3.2 Historial:

Esta ventana que se reproduce en la figura 5, permite visualizar las lecturas tomadas de los transmisores a intervalos regulares los cuales se pueden modificar a través del control "Intervalo de muestreo".

El intervalo de muestreo por defecto es de 5 minutos, este se puede ajustar hasta mínimo 0.1 minutos = 6 segundos



Figura 5. Pantalla de visualización y configuración de intervalo del historial en el software.

3.3.3 Control de ejecución:

La siguiente ventana (Fig. 6) mostrará la fecha y hora actuales, también el tiempo transcurrido desde el inicio de la sesión de simulación; permitirá funciones complementarias como la visualización y edición de historiales anteriores, el cambio de la contraseña actual y la activación de temporizadores o cronómetros que resultan útiles durante las simulaciones de corrosión, y la finalización general del programa.



Figura 6. Pantalla de control de ejecución del programa de mando y supervisión.

3.3.3.1 Temporizadores:

Esta opción resulta útil para llevar el control del tiempo transcurrido en cada etapa de la simulación, el operario puede controlar su duración además de terminar su conteo, momento en el cual el programa da un mensaje sonoro.

3.3.3.2 Abrir carpeta de historiales:

Este botón abre el explorador de Windows en la carpeta donde el programa almacena los historiales de simulaciones finalizadas anteriormente para su visualización o análisis.

El intervalo de muestreo puede ser modificado, permitiendo ajustar la cantidad de datos almacenados en caso de requerirse un mayor o menor grado de detalle en el proceso de simulación.

El archivo obtenido tiene extensión .csv, que puede ser visualizado en cualquier aplicación de hoja de cálculo como Microsoft® Excel®; el archivo contiene un listado de los valores tomados durante la simulación con su respectiva hora.

3.3.3.3 Cambiar contraseña:

Para emplear esta ventana es necesario conocer la contraseña actual para modificarla.

3.3.4 Ajuste del rango de operación normal de la simulación:

Mediante esta ventana se modifican los rangos de operación considerados como aceptables para la operación normal de la simulación. Si se ingresara un valor que supere los mostrados en la tabla 1, el algoritmo mostrará esta condición y dará opción de corregir éste error.

Tabla 1. Valores máximos de operación dentro de la simulación.

VARIABLE	VALOR
Presión	2000 PSI
Volumen en los tanques	1600 ml
Concentración de H ₂ S	100 ppm

Como se observa en la figura 7, la magnitud de presiones y niveles en cada tanque se pueden asignar independientemente.

	presión del tanque de mezcla	volumen del tanque de mezcla	presión del autoclave	concentración ambiental de H ₂ S	presión del tanque de olvido	volumen del tanque de olvido
límite superior	2000 psi	1600 psi	2000 psi	100 ppm	2000 psi	1600 psi
límite inferior	0 psi	0 psi	0 psi	0 ppm	0 psi	0 psi

almacenar

Figura 7. Solicitud de parámetros de simulación.

4. INSTRUCCIONES PARA LA DESINSTALACIÓN DEL SOFTWARE

En caso de desear quitar el programa del computador se deben desinstalar los tres componentes del software:

- Interfaz Gráfica (proyecto de mando y supervisión)
- LabVIEW 6.0 Run-Time Engine
- NI VISA 2.6.0 Runtime

Esto se consigue accediendo a través de **Menú Inicio > Panel de Control > Agregar o quitar programas**, seleccionando cada uno de los programas y presionando el botón **Agregar o quitar**

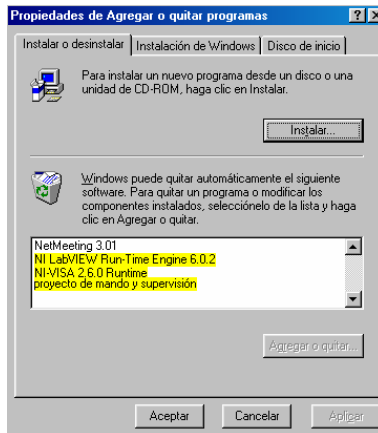


Figura 8. Ventana para desinstalar el programa.

5. SOLUCIÓN D E P R O B L E M A S

PROBLEMA	RAZÓN / POSIBLE SOLUCIÓN
El programa no acepta la contraseña.	Se cambio la contraseña / reinstalar el programa.
El programa genera un error incluyendo el texto "recurso VISA inexistente".	No existe un puerto serial o accidentalmente se desconfiguró el programa VISA Runtime / reinstalar VISA Runtime disponible en el CD de instalación.
El programa genera mensaje "puerto serial imposible de abrir".	El puerto esta siendo usado por otro programa / cierre cualquier programa que emplee el puerto serial y vuelva a ejecutar el software de mando y supervisión.
El programa genera error "No existe comunicación con la tarjeta...".	Encender tarjeta Verificar la conexión serial.
Se sospecha mal funcionamiento de la tarjeta de control.	Consultar anexo B.
Se tiene lectura 8888.8 en todos los indicadores: presión, concentración y nivel.	Error de comunicación con la planta.
Se tiene lectura 9999.9 en todos los indicadores: presión, concentración y nivel.	error de conexión, posiblemente algún transmisor esta desconectado o dañado.
Las alarmas no se desactivan.	El sistema esta diseñado de modo que cualquier condición de alarma debe ser desactivada manualmente por el operador.

ANEXO A

INSTRUCCIONES PARA LA CALIBRACIÓN DEL TRANSMISOR DE NIVEL DELTA CONTROLS MODELO 171

Al contrario de los transmisores de presión y concentración de gas que tienen calibración de fábrica, los transmisores de nivel requieren calibración manual debido a que el mismo dispositivo puede ser empleado con diferentes longitudes de sonda y combinación de líquidos lo que hace que en cualquier caso varíe la constante dieléctrica en el sensor. Además es aconsejable una recalibración periódica para asegurarse de tener lecturas correctas durante la simulación.

En la planta de simulación de corrosión se encuentran dos contenedores plásticos que protegen al circuito electrónico del transmisor de golpes y de la intemperie (figura A1).

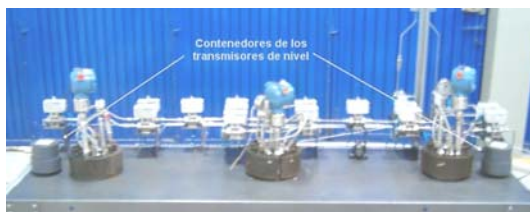


Figura A1. Ubicación de los transmisores de nivel en la planta de simulación.

Al abrir el contenedor se pueden localizar tres controles como los mostrados en la figura A2:

El jumper de selección de rango (sensibilidad)

El potenciómetro de ajuste cero (salida a 4.0 mA DC)

El potenciómetro de ajuste de *span* (salida a 20.0 mA DC)

También se notará un indicador análogo de aguja que se suministra para simplificar la calibración.

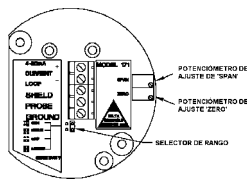


Figura A2. Ubicación de los controles de ajuste en los transmisores de nivel.

El proceso de calibración de los transmisores de nivel consta de cuatro pasos:

1. Llene el tanque en proceso de calibración con electrolito a una altura suficiente como para cubrir aproximadamente ocho centímetros de la punta de la sonda de nivel, este nivel será considerado como el 0% de volumen en el tanque (tanque vacío).

2. Después de tapar el tanque, gire el potenciómetro de ajuste de cero hasta que el indicador de aguja muestre un nivel de 0% (señal de salida de 4.00mA DC).

3. Agregue al tanque 1600 ml de electrolito, este será el 100% del volumen del tanque. Cierre y ajuste el tanque.

4. Gire el potenciómetro de *span* hasta que la aguja del indicador esté en la posición de 100% (tanque lleno). * *
NOTA * * si la aguja no llega en ningún caso al 100%, cambie el selector de rango a una sensibilidad mas baja y repita el proceso desde el paso 1.

En este punto la calibración esta hecha, el ajuste del *span* no deberá afectar el ajuste del 0%.

ANEXO B

VERIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN / CONTROL

Se puede comprobar fácilmente la correcta operación de la tarjeta en sus dos etapas principales:

Control digital de las válvulas: Gracias a los diodos LED presentes en la parte superior del chasis de la tarjeta, se puede verificar que las válvulas activadas o desactivadas desde el computador estén realmente en tal condición.

Conversores A/D: Si se sospecha que las lecturas de los transmisores son erróneas debido a la etapa de conversión A/D del sistema, se pueden emplear resistencias de $1.2K\Omega$ entre los pares de entradas marcadas como IN1-GND, IN2-GND... IN6-GND (ver anexo C), en tal configuración mostrada en la figura B1 la lectura en el software deberían ser cercanas al máximo de cada transmisor.

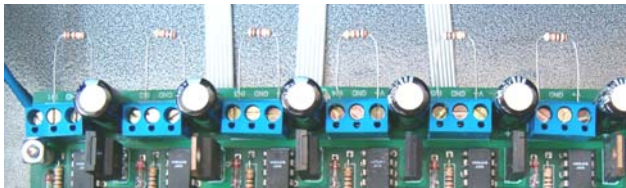


Figura B1. Conexión de resistencias a la tarjeta de adquisición / control.

ANEXO C

DIAGRAMAS DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN / CONTROL

Se presentan los esquemas con la numeración empleada en el cableado del circuito.

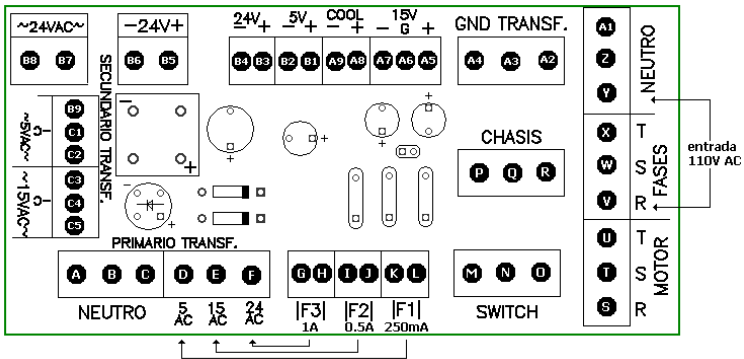


Figura C1. Esquema del circuito impreso de potencia DC.

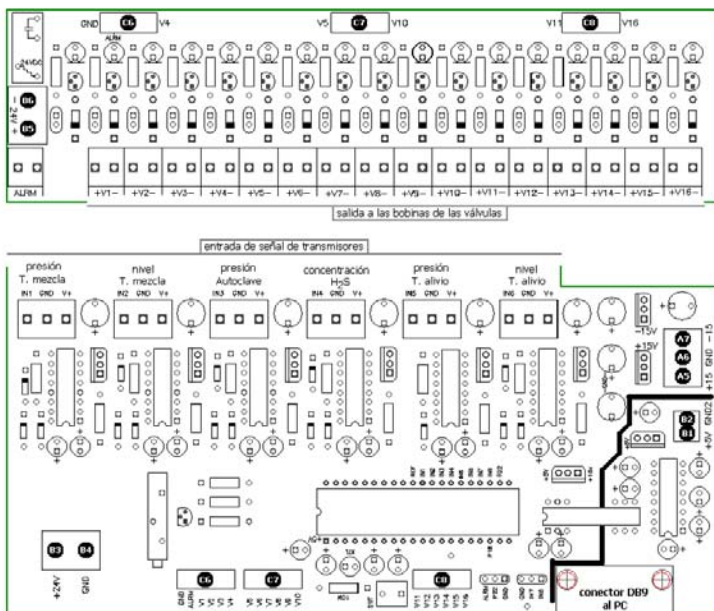


Figura C2. Esquema del circuito impreso principal y de accionamiento de las válvulas.

