

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## ***AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE GASES ESPECIALES DE LA EMPRESA AGA GAS***

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. Hernández, Heidi  
y la Br. Rodríguez, Jhessica  
Para optar al Título de  
Ingeniero Químico

Caracas, Octubre de 2004

## MENCIÓN HONORÍFICA

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres Heidi A. Hernández R. y Jhessica L. Rodríguez Ñ., titulado: “*Automatización de la planta de Gases Especiales de la Empresa AGA Gas*”, para optar al título de Ingeniero Químico, consideramos que dicho trabajo debe ser reconocido con una Mención Honorífica. Esta decisión se toma considerando los siguientes méritos:

1. El trabajo colaboró de manera eficaz en la automatización de la Planta de Gases Especiales de la Empresa AGA Gas, ya que se desarrollaron todas las etapas asociadas a este tipo de proyectos de manera metódica y ordenada.
2. Las Bres. Hernández y Rodríguez desarrollaron todas las actividades asociadas con la ingeniería de detalles de este proyecto incluyendo las disciplinas que no son de su dominio formal (instrumentación, electricidad, sistemas, etc.). En todas ellas tuvieron una sobresaliente actuación, logrando resultados confiables y satisfactorios. Esto resulta en una experiencia integral como profesional al trabajar en disciplinas propias de otras ramas de la ingeniería.
3. Las Bres. Hernández y Rodríguez mostraron gran iniciativa, creatividad, disciplina y habilidad en la resolución de problemas y en la toma de decisiones, en todas las etapas del proyecto desarrolladas directamente por ellas. Las recomendaciones y mejoras implementadas aumentan la seguridad de la planta y representa ahorros significativos de tiempo y dinero para las operaciones de la empresa.
4. Las Bres. Hernández y Rodríguez demostraron, tanto en el trabajo escrito como en la presentación oral del mismo, un excelente dominio de los aspectos teóricos y prácticos del problema planteado.

---

Prof. Leonardo Oropeza  
Jurado

---

Prof. Johnny Vásquez  
Jurado

---

Prof. Berenice Blanco  
Tutora Académica

---

Ing. Miguel Cervino  
Tutor Industrial

Caracas, noviembre de 2004.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las Bachilleres Heidy A. Hernández R. y Jhessica L. Rodríguez Ñ., titulado:

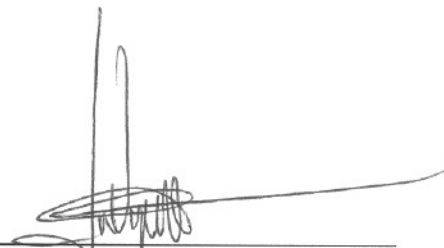
**“AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE GASES ESPECIALES  
DE LA EMPRESA AGA GAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por las autoras, lo declaran APROBADO.



---

Prof. Leonardo Oropeza  
Jurado



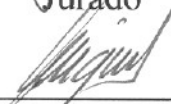
---

Prof. Johnny Vásquez  
Jurado



---

Prof. Berenice Blanco  
Tutora Académica



---

Ing. Miguel Cervino  
Tutor Industrial

**Hernández R. Heidy A.  
Rodríguez Ñ. Jhessica L.**

## **AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE GASES ESPECIALES DE LA EMPRESA AGA GAS**

**Tutor Académico: MSc. Berenice Blanco.  
Tutor Industrial: Ing. Miguel Cervino.  
Tesis. Maracay, UCV. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Ingeniería Química. 2004, 149 pág.**

**Palabras claves: Gases Especiales, Páneles, Control secuencial,  
Automatización, PLC, SCADA, DFP, DTI, DLF.**

### **RESUMEN**

Los Gases Especiales son productos de alta calidad en los que el contenido de impurezas está previamente especificado. La Empresa AGA GAS posee un centro de producción de Gases Especiales, constituido por cuatro sistemas identificados como Páneles 901, 921, 931 y 941, donde se realiza el tratamiento y llenado de cilindros bajo un control secuencial. De los sistemas existentes, el Panel 941 se encuentra fuera de servicio y de los páneles operativos el 901 y 931 funcionan en modo asistido con un controlador que se encuentra discontinuado. Esta situación origina que no se cumplan a cabalidad las necesidades de la planta, por lo que se planteó la *Automatización de la Planta de Gases Especiales*, de manera de garantizar la producción eficiente, el monitoreo del proceso y el registro de los datos correspondientes. La automatización implicó evaluar, acondicionar e implementar mejoras para garantizar la correcta operación de los sistemas, así como generar una serie de documentos que permitan registrar información importante, tales como DFP, DTI y DLF. La actualización del sistema de control se inició con los trabajos para reactivar el Panel 941, la instalación de un panel de control para el nuevo PLC, la programación de este controlador y el diseño de los esquemáticos para monitorear el proceso con un SCADA. El alcance de los objetivos se vio limitado por retraso en la entrega de instrumentos de importación y por problemas de comunicación PLC-Computador, lo que impidió completar las implantaciones y la fase de pruebas y verificación. Como resultado de este trabajo se deja el registro de los documentos generados, las instalaciones realizadas entre las que se destaca el sistema de suministro de CO<sub>2</sub>, la mejora de las condiciones de seguridad y hermeticidad de los sistemas, así como los procedimientos para completar los trabajos que no pudieron ser concretados.

---

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
OBJETIVOS .....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos .....	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
Gases Especiales .....	20
1. Tratamiento y acondicionamiento de los cilindros .....	21
2. Llenado .....	22
3. Certificación.....	24
Automatización.....	25
Etapas de la automatización.....	25
Objetivos de la Automatización.....	26
Sistemas de Control .....	26
Controlador Lógico Programable .....	28
Componentes de un PLC .....	30
Programación de un PLC.....	31
Diagramas Lógicos de Flujo .....	32
Sistema SCADA .....	36
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	38
I. Especificación.....	39
II. Diseño .....	40
III. Implantación .....	42
1. Acondicionamiento de la Planta .....	42
1.1. Acondicionamiento de los Páneles .....	43

---

---

1.2. Implementación de Mejoras.....	45
1.3. Reactivación del Panel 941 .....	47
2. Actualización del sistema de control .....	49
IV. Pruebas y Verificación.....	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	53
ESPECIFICACIÓN .....	54
Seguimientos del Proceso Productivo.....	54
Procedimientos de Producción de Gases Especiales .....	54
Proceso de Tratamiento – Panel 921.....	54
Proceso de Llenado - Páneles 901, 931 y 941 .....	56
Tiempos Asociados a las Etapas del Proceso de Llenado .....	58
Diagnóstico de la Instrumentación .....	60
Lista de Instrumentos.....	60
Planteamiento de Mejoras.....	61
Mejoras generales .....	62
Mejoras específicas.....	65
Mejoras propuestas para el Panel 901.....	66
Mejoras propuestas para el Panel 921.....	67
Mejoras propuestas para el Panel 931.....	69
DISEÑO.....	71
Diagramas de Flujo de Proceso .....	71
Diagramas de Tubería e Instrumentación .....	73
Mejora de los Formatos de las Órdenes de Servicio.....	75
Diagrama Lógico de Flujo .....	77
Simbología.....	77
Estructura.....	79
Análisis de Tiempo .....	82
Problemas.....	83
Protocolos de Prueba .....	84
Tecnología Empleada .....	85
Controlador Lógico Programable .....	85

---

---

Especificaciones del PLC .....	86
Sistema SCADA .....	87
IMPLANTACIÓN .....	88
Acondicionamientos Realizados.....	88
Mantenimiento preventivo de los sistemas.....	88
Mantenimiento de las bombas de vacío de sello hidráulico .....	89
Mantenimiento de la línea de Venteo .....	90
Mantenimiento de las válvulas solenoides.....	90
Verificación del ajuste y calibración de los transmisores de presión .....	91
Mejoras Concretadas.....	93
Instalación de un sistema de suministro de CO <sub>2</sub> .....	93
Cambio de la disposición de las solenoides.....	95
Cambio del diseño de las arañas .....	97
Reactivación del Panel 941 .....	98
Consideraciones de seguridad.....	98
Consideraciones de pureza.....	99
Diagrama de Distribución Física .....	99
Cambios requeridos para la automatización .....	99
Mejoras Implementadas durante la reactivación .....	100
Configuración resultante del Panel 941 .....	108
Alcance de la reactivación del Panel 941 .....	109
Actualización del Sistema de Control.....	112
Revisión del cableado .....	112
Instalación del nuevo panel de control .....	113
Programación del PLC.....	117
Diseño de Esquemáticos .....	118
Clasificación de los Esquemáticos.....	118
Modelo de Esquemáticos .....	120
Simulación del proceso.....	139
PRUEBAS Y VERIFICACIÓN .....	140
CAPITULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA .....	142

---

---

CONCLUSIONES .....	143
RECOMENDACIONES.....	145
BIBLIOGRAFÍA .....	147
Referencias Bibliográficas.....	147
Bibliografía Consultada .....	148
CAPITULO VI. ANEXOS .....	149
Anexo A. Pasos del Proceso de Tratamiento – Panel 921	
Anexo B. Pasos del Proceso de Llenado – Páneles 901, 921 y 941	
Anexo C. Seguimiento de un llenado de Argón Espectrometría en el Panel 901	
Anexo D. Diagnóstico de la Instrumentación	
Anexo E. Lista de Instrumentos	
Anexo F. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) de los Páneles. Sin Considerar las Mejoras Propuestas	
Anexo G. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) de los Páneles. Considerando las Mejoras Propuestas	
Anexo H. Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI) de los Páneles. Sin Considerar las Mejoras Propuestas	
Anexo I. Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI) de los Páneles. Considerando las Mejoras Propuestas	
Anexo J. Formato Original de las Órdenes de Servicio	
Anexo K. Formato Mejorado de las Órdenes de Servicio del Panel 941	
Anexo L. Diagrama Lógico de Flujo (DLF) del Panel 941	
Anexo M. Protocolo de Pruebas para Nitrógeno Puro	
Anexo N. Protocolo de Pruebas para Mapax 0030	
Anexo O. Señales Analógicas / Digitales	
Anexo P. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) del Sistema de Suministro de CO <sub>2</sub>	
Anexo Q. Diagrama de Distribución Física Panel 941	
Anexo R. Dirección de las Señales para el PLC	
Anexo S. Modelo de Programación del PLC en Lenguaje Ladder	

---



---

## *ÍNDICE DE TABLAS*

Tabla N° 1. Número de Purgas de acuerdo a la calidad.....	22
Tabla N° 2. Código de Equipos .....	72
Tabla N° 3. Código de Identificación de la Línea.....	73
Tabla N° 4. Código de Identificación del Panel.....	73
Tabla N° 5. Código de Servicio .....	74
Tabla N° 6. Código de Identificación del área o sección.....	74
Tabla N° 7. Código de Especificación del Materia.....	75

---

## *ÍNDICE DE FIGURAS*

Figura 1. Estructura Secuencial .....	33
Figura 2. Estructura Condicional Alternativa Simple.....	33
Figura 3. Estructura Condicional Múltiple Alternativa .....	34
Figura 4. Estructura repetitiva Mientras .....	34
Figura 5. Estructura repetitiva Repetir.....	35
Figura 6. Estructura repetitiva Desde / Para .....	36
Figura 7. Montaje de un Proceso de Tratamiento .....	55
Figura 8. Prueba de Fuga en un Proceso de Tratamiento .....	55
Figura 9. Desmontaje de un Proceso de Tratamiento .....	56
Figura 10. Montaje de un Proceso de Llenado .....	56
Figura 11. Prueba de Fuga en un Proceso de Llenado.....	57
Figura 12. Desmontaje de un Proceso de Llenado.....	58
Figura 13. Llenado de Argón Espectrometría.....	59
Figura 14. Esquema de Identificación de la Instrumentación.....	72
Figura 15. Esquema de Identificación de las Tuberías .....	74
Figura 16. Simbología empleada en los DLF .....	78
Figura 17. Llamado de las sub-rutinas.....	81
Figura 18. Vista Frontal del Sistema de Suministro de CO <sub>2</sub> .....	93
Figura 19. Vista lateral del Sistema de Suministro de CO <sub>2</sub> .....	94
Figura 20. Panel del Sistema de Suministro de CO <sub>2</sub> .....	94
Figura 21. Bancos que conforman el Sistema de Suministro de CO <sub>2</sub> .....	95
Figura 22. Disposición original válvulas solenoides Panel 901 .....	96
Figura 23. Disposición original válvulas solenoides Panel 921 .....	96
Figura 24. Cambio de disposición solenoides Panel 901.....	96
Figura 25. Cambio de disposición solenoides Panel 921.....	96

---

---

Figura 26. Diseño original de la araña.....	97
Figura 27. Curvatura original de los flexibles acoplados a los cilindros.....	97
Figura 28. Diseño mejorado de la araña .....	98
Figura 29. Curvatura actual de los flexibles acoplados a los cilindros.....	98
Figura 30. Estructura Original de la Línea de Vacío .....	100
Figura 31. Estructura Actual de la Línea de Vacío.....	100
Figura 32. Tramo de tubería soldado.....	101
Figura 33. Cambio de diámetro soldado.....	101
Figura 34. “T” con cambio de diámetro soldada .....	101
Figura 35. Válvula con extensiones soldables .....	102
Figura 36. Válvula con conectores Línea de vacío.....	102
Figura 37. Válvula con conectores principal de vacío.....	102
Figura 38. Válvulas manuales con conectores.....	102
Figura 39. Soporte válvulas manuales de alimentación.....	103
Figura 40. Soporte válvula manual de venteo.....	103
Figura 41. Soporte de la línea de vacío.....	103
Figura 42. Soporte del transmisor de presión de la línea de vacío .....	103
Figura 43. Tendido original de tuberías externas del Panel 941.....	104
Figura 44. Tendido mejorado de las tuberías externas del Panel 941.....	104
Figura 45. Tendido de tuberías en la parte exterior del Panel 941 y en la Planta.....	105
Figura 46. Válvulas solenoides originales del Panel 941 .....	106
Figura 47. Válvulas solenoides instaladas en el Panel 941.....	106
Figura 48. Ubicación del panel de las válvulas solenoides.....	106
Figura 49. Sistema neumático de alimentación a las válvulas solenoides.....	107
Figura 50. Cableado de las válvulas solenoides del Panel 941.....	107
Figura 51. Configuración resultante de la reactivación del Panel 941 .....	109
Figura 52. Señalización original de los cables.....	112
Figura 53. Señalización actual de los cables.....	112
Figura 54. Panel Central de Laboratorio indicando el cubículo del panel de control.....	113
Figura 55. Panel Central de Laboratorio con despliegue del Panel de control.....	113
Figura 56. Panel de Control instalado.....	113

---

---

Figura 57. Zona superior - Interruptores de tensión .....	114
Figura 58. Zona superior - Fuente de alimentación .....	114
Figura 59. Zona Superior Panel de Control - Borna de los transmisores de presión.....	115
Figura 60. Zona Central del panel de control - PLC.....	116
Figura 61. Zona inferior del Panel de Control – Bornas de los pánels .....	117
Figura 62. Información Principal.....	121
Figura 63. Datos del llenado asociado al gas puro Nitrógeno. ....	122
Figura 64. Datos del llenado asociados al Gas Puro Argón.....	122
Figura 65. Datos del llenado asociados a las mezclas .....	123
Figura 66. Condiciones requeridas para iniciar el proceso.....	124
Figura 67. Proceso en ejecución. ....	125
Figura 68. Fuga detectada, opción si ubicada y si corregir.....	126
Figura 69. Fuga Detectada, opción si ubicada y no corregir .....	126
Figura 70. Fuga detectada, opción no ubicada y si repetir .....	127
Figura 71. Fuga detectada, opción no ubicada y no repetir .....	127
Figura 72. Problema de Presurización Líneas Panel.....	128
Figura 73. Problema de Venteo .....	129
Figura 74. Problema de Vacío 1 .....	129
Figura 75. Problema de vacío 2 .....	130
Figura 76. Set Points de presiones de llenado .....	131
Figura 77. Set Points de tiempos asociados al Panel 941, parte 1 .....	132
Figura 78. Set Points de tiempos asociados al Panel 941, parte 2 .....	132
Figura 79. Gráfico por panel.....	133
Figura 80. Gráficos de todos los pánels. ....	134
Figura 81. Código de Equipos. ....	135
Figura 82. Esquema de la identificación de la instrumentación .....	136
Figura 83. Lista de códigos de la identificación de la instrumentación.....	136
Figura 84. Identificación de la instrumentación del Panel 941, parte 1.....	137
Figura 85. Identificación de la instrumentación del Panel 941, parte 2.....	137
Figura 86. Dirección de Señales .....	138
Figura 87. Interrelación de esquemáticos .....	138

---

---

***CAPÍTULO I***  
***FUNDAMENTOS***

## ***INTRODUCCIÓN***

AGA GAS es una empresa líder en el mercado de gases en Venezuela, la cual posee un centro de producción y llenado ubicado en Maracay-Estado Aragua, donde se encuentra La Planta de Llenado de Gases Especiales.

En los *Gases Especiales* la pureza y las impurezas están previamente especificadas, es por ello que se requiere controlar todos y cada uno de los pasos del proceso productivo, para lograr el llenado de cilindros con gases a alta presión. Dichos pasos implican la cuidadosa selección de la materia prima, la preparación externa e interna de los cilindros, el llenado por lotes controlado y la certificación de calidad del producto final. Por lo tanto, la planta cuenta con diferentes equipos, un laboratorio y el recurso humano que se encargan de velar para que cada paso se ejecute de forma adecuada.

La producción en la Planta de Gases Especiales se logra a través de varios sistemas: un panel para el tratamiento interno de los cilindros (Panel 921) y tres paneles a través de los cuales se realiza el llenado de cilindros (Paneles 901, 931 y 941), los cuales operan con un sistema de control que no cumple a cabalidad con las actuales necesidades de la planta. Aunado a esto, dicho sistema de control se encuentra discontinuado por lo que el mercado no ofrece soporte técnico.

Es por esto que la organización se ha planteado como objetivo actualizar el sistema de control de la Planta de Gases Especiales de la Empresa AGA GAS, de manera de garantizar la producción eficiente, el monitoreo del proceso, el registro y la disponibilidad de los datos correspondientes a cada etapa del llenado de cilindros.

En tal sentido el proyecto se inició con el desarrollo de dos trabajos de pasantía dedicados al estudio de la situación actual de los paneles 901 y 921, con los cuales se identificó la necesidad de acondicionar e implementar mejoras en dichos procesos. Para continuar con la

fase de automatización, en este Trabajo Especial de Grado se inició el acondicionamiento y la actualización del sistema de control del Panel 941, para la operación automática.

Para alcanzar los objetivos de este proyecto las tareas se organizaron según las cinco etapas de un proceso de automatización, las cuales son: Especificación, Diseño, Implantación, Pruebas y Verificación. En la etapa de Especificación se estudiaron los procesos y se identificaron las necesidades. Luego se inició la fase de Diseño en la cual se actualizaron los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP), se generaron los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI), se desarrollaron los Diagramas Lógicos de Flujo (DLF) y se obtuvieron los Protocolos de Pruebas para la verificación de la correcta operación del panel. Por último, en esta misma etapa se seleccionó la tecnología a emplear de acuerdo a las especificaciones requeridas para la Automatización de todos los paneles.

La etapa de Implantación consistió en acondicionar e implementar mejoras en la planta y se enfocó en reactivar el Panel 941. Tarea que se vió limitada por el retraso en la entrega de ciertos equipos importados. Adicionalmente, se realizó el diseño de los esquemáticos para la interacción hombre-máquina, así como las verificaciones y acondicionamientos requeridos para instalar el nuevo bloque de decisión. Paralelo a esto, el personal de Proyectos de Automatización se encargó de la programación.

Debido a que la reactivación del Panel 941 estuvo limitada por retrasos en la importación de cierta instrumentación, la fase final de la implantación no pudo concretarse, quedando como resultado de este Trabajo Especial de Grado los pasos que deben seguirse para completar la reactivación de dicho panel y las instrucciones para realizar la simulaciones del proceso. Una vez culminado esto se podrá integrar la parte operativa con la parte de mando para arrancar con la fase de Pruebas y Verificación, en la cual se plantea la metodología para verificar la operación de la instrumentación de acuerdo al programa desarrollado, con la finalidad de afinar el programa y asegurar las condiciones del proceso.

La actualización del sistema de control de la Planta de Gases Especiales es de gran importancia para la organización, ya que incrementará su avance tecnológico, aumentará la

eficiencia, disminuirá las pérdidas de tiempo y producto, elevará su participación y competitividad en el mercado, además de mejorar la calidad del trabajo y del proceso sin que exista un reemplazo de los operadores por la máquina. Con todo esto, Venezuela marcará una pauta a nivel de la Región Sur América Norte, ya que sería la primera Planta de Gases Especiales de la empresa AGA Gas C.A. completamente automatizada.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Planta de Gases Especiales cuenta con cuatro sistemas para acondicionar y llenar los cilindros, de los cuales sólo tres se encuentran operativos: el Panel 921 para el horneado o tratamiento interno de los cilindros, el Panel 901 a través del cual se llenan gases puros y mezclas inertes, y el Panel 931 para el llenado de gases puros, mezclas inertes y oxidantes. El cuarto sistema destinado al llenado de gases puros, mezclas inertes e inflamables Panel 941, actualmente se encuentra fuera de servicio debido a una falla en el controlador.

Los procesos desarrollados en estos paneles inicialmente operaban en forma automática y semi-automática, a través del programa Cyrano en ambiente DOS, y dirigido por un operador a través de un display táctil. Cabe destacar que actualmente sólo el panel de horneado funciona en forma automática y los paneles de llenado en forma semi-automática, requiriéndose la continua participación de los operadores en las diferentes etapas de los procesos.

Esta situación origina que el sistema de control existente no cumpla a cabalidad con las necesidades actuales de la planta, ya que puede ocasionar pérdida de tiempo y dinero en búsqueda de la calidad estipulada y certificada por ISO-9001 que se ofrece en los productos. Aunado a esto, por la antigüedad del sistema de control, el mercado ya no ofrece mantenimiento ni repuestos, de manera que una falla en el software o en el hardware del controlador de uno de los paneles puede afectar significativamente la productividad de la planta.

Es por esto que, en la búsqueda de la mejora continua y del cumplimiento de los estándares de calidad de forma eficiente, la organización específicamente la Región Sur América Norte ha establecido como meta ***La Automatización de las Plantas de Gases Especiales***, con la finalidad de mejorar y facilitar los procesos, mediante la sustitución del sistema de control por uno moderno bajo ambiente Windows 2000. Con esta implementación se busca

aumentar la competitividad de la empresa, mejorar la trazabilidad de los productos y la recolección de datos de cada proceso desarrollado, herramientas importantes durante las auditorias y para brindar soporte a los clientes en caso de posibles reclamos.

Para cumplir con esta meta la organización ha establecido iniciar este proyecto en Venezuela con este Trabajo Especial de Grado, el cual implica implementar las mejoras de los pánels 901 y 921 sistemas ya estudiados en los trabajos de pasantía, evaluar y acondicionar el Panel 931 y reactivar el Panel 941 mejorando la distribución de la instrumentación y las tuberías dentro de dicho sistema.

Es importante señalar que la reactivación del Panel 941 responde al incremento de la demanda de ciertos productos, por lo que se requiere aumentar la capacidad de producción de la planta y evitar que la misma se vea limitada en un futuro por el continuo crecimiento del mercado.

## **OBJETIVOS**

### ***Objetivo General***

Actualizar el sistema de control secuencial de la Planta de Gases Especiales de la Empresa AGA GAS, de manera de garantizar la producción eficiente, el monitoreo del proceso, el registro y la disponibilidad de los datos correspondientes a cada etapa del llenado de cilindros.

### ***Objetivos Específicos***

- ⊕ Acondicionar la instrumentación que conforma el Panel 921, para el tratamiento interno de cilindros.
- ⊕ Acondicionar la instrumentación que conforma el Panel 901, para el llenado de gases puros, mezclas inertes y oxidantes.
- ⊕ Familiarizarse con el proceso desarrollado en el Panel 931, para el llenado de gases puros, mezclas inertes y oxidantes.
- ⊕ Evaluar la función que desempeña la instrumentación que conforman el Panel 931.
- ⊕ Identificar las fallas que afecten el proceso desarrollado en el Panel 931, para darles la solución más adecuada al menor costo.
- ⊕ Estudiar el proceso que se desarrolla en el Panel 941, para el llenado de gases puros, mezclas inertes e inflamables.

- ⊕ Reactivar el Panel 941, considerando los parámetros de seguridad para el llenado de gases inflamables.
- ⊕ Implementar las mejoras requeridas en cada uno de los paneles del proceso, de manera de garantizar la correcta operación de los mismos.
- ⊕ Sustituir el controlador y el programa de funcionamiento actual de los paneles, por sistemas modernos y versátiles.
- ⊕ Verificar la correcta operación del funcionamiento automático a implementar, mediante simulaciones y pruebas en planta.
- ⊕ Agilizar el proceso productivo mediante el control automático, la visualización y la recolección de datos requeridos.
- ⊕ Realizar la inducción correspondiente al cambio de sistema de control, al personal que labora en la planta.

---

***CAPÍTULO II***  
***MARCO TEÓRICO***

### ***Gases Especiales***

*Los Gases Especiales* son gases o mezclas de gases envasados en cilindros bajo estrictos controles para asegurar las especificaciones que permitan su utilización en procesos determinados. En los gases puros las impurezas se controlan a niveles de partes por millón (ppm) las cuales pueden ser H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, total de hidrocarburos condensables (THC) y algún residuo de otro tipo de gas presente en el proceso, y las mezclas pueden contener componentes desde ppm hasta porcentajes.[Hernández, 2003 y Rodríguez, 2003]

Las especificaciones ofrecidas por la empresa constituye los *productos de línea* y la requerida por los clientes son las *mezclas certificadas*, estas últimas dependen de las aplicaciones que se les quiera dar: calibración de equipos, uso en equipos de medición y control, investigaciones, soldaduras especiales, industria alimenticia y medicinal, etc. [Hernández, 2003 y Rodríguez, 2003]

En el manejo de Gases Especiales se debe garantizar la calidad de la materia prima, por lo que las instalaciones deben ser de acero inoxidable con tuberías electropulidas que cuenten con uniones soldadas por medio de un equipo orbital de soldadura TIG, cuyos conductos hayan sido purgados con argón de alta pureza, a fin de evitar la consecuente oxidación de las tuberías y garantizar una línea de gas de difusión cero.

Cuando se va a producir un gas especial se deben realizar una serie de pasos establecidos [Hernández, 2003 y Rodríguez, 2003], los cuales se presentan a continuación:

### **1. Tratamiento y acondicionamiento de los cilindros**

El elemento final donde van a ser envasados y comercializados los gases son los cilindros, por lo cual se debe garantizar el correcto estado de los mismos. El proceso se inicia con la selección y adecuación de los cilindros para el llenado de Gases Especiales en el Departamento de Mantenimiento de Cilindros, mediante la inspección interna y externa de los mismos, la verificación de sus datos técnicos y la realización en caso de ser necesario de la prueba hidrostática que permite garantizar que los cilindros están aptos para ser llenado a la presión máxima que van soportar.

Una vez calificados por dicho departamento, los cilindros son trasladados a las áreas de llenado donde, según la calidad y los requerimientos del gas a envasar, puede o no continuar el acondicionamiento interno. Para el caso de los de los Gases Especiales se dispone del *Panel 921* donde, por norma general, deben ser tratados todos los cilindros a excepción de los de aluminio y aquellos que posean remanente de calidad similar o superior del gas con que van a ser llenados.

El Panel 921 permite el tratamiento simultáneo de 12 cilindros en 2,5 horas, mediante el calentamiento a 130°C y la realización de ciclos de purga con gases inertes, a fin de disminuir las impurezas residuales y principalmente la humedad. Cada ciclo de purga está constituido por un vacío donde se alcanzan presiones inferiores a 1 psia y una presurización en la cual se inyecta el gas de purga hasta 75 psia. Es importante señalar que para el horneado de cilindros que manejen gases inflamables, el tratamiento se realiza a una menor temperatura (90°C), para evitar que se rompan los precintos de seguridad que posee las válvulas de estos cilindros.

Los gases empleados en el tratamiento son Nitrógeno y Argón, y la selección del gas de purga depende de los cilindros a tratar. De este modo, los cilindros de argón y de mezclas cuyo balance sea dicho gas son tratados empleando argón, mientras que para el resto de los cilindros se emplea nitrógeno como gas de purga.

## 2. Llenado

Esta es la etapa principal del proceso productivo, ya que en ella se generan los productos finales. El llenado de Gases Especiales consiste en el trasegado de las diferentes materias primas a los cilindros previamente acondicionados.

Las materias primas empleadas en mayor proporción en la Planta de Gases Especiales son producidas por AGA y se encuentran almacenadas en tanques criogénicos, las cuales son Oxígeno, Nitrógeno y Argón, mientras que las usadas en menor proporción son empleadas directamente de cilindros y pueden ser producidas por la empresa o importadas, como por ejemplo: H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, Helio, Hidrocarburos, Hexafluoruro de azufre, entre otras.

Antes de alimentar la materia prima a los paneles de llenado, se debe eliminar las impurezas, es por ello que en las líneas de distribución se dispone de filtros de papel que eliminan las partículas no deseadas. Adicionalmente, en las líneas de nitrógeno y argón se cuenta con un sistema de purificación de oxígeno, basado en la reacción química con níquel.

La Plana de Gases Especiales dispone de los Páneles 901, 931 y 941, cada uno de los cuales permite el llenado simultáneo de un máximo de 24 cilindros con gases puros o mezclas, en aproximadamente 1,5 horas. Cuando se va a llenar un gas puro se debe realizar la purga de las líneas del panel y de los cilindros con el gas a envasar, para luego iniciar el trasegado a los cilindros hasta una presión final de 2200 psig. El número de purgas debe hacerse según la calidad que se desea obtener en el producto final de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla N° 1. Número de Purgas de acuerdo a la calidad

Nivel	Pureza	Numero de purgas
Espectrometría	99.9995 (5.5)	4
Ultra alta pureza	99.9990 (5.0)	3
Alta pureza	99.9950 (4.5)	2

Las mezclas se realizan a partir de gases puros y se sigue el mismo procedimiento de purga que permite garantizar pureza, pero en este caso se hace con el gas balance de la mezcla, es decir con el gas que se encuentra en mayor proporción en la misma. Generalmente, se



introduce en el cilindro los gases en menor proporción y luego el gas balance, para ayudar a la homogeneidad de la mezcla. Dependiendo de las especificaciones requeridas por el cliente estas mezclas pueden ser preparadas con gases puros, ultra puros, extra secos, etc. y con diferente número de componentes.

El llenado de cada componente en el cilindro depende del grado de exactitud requerido y de las propiedades fundamentales del gas como la presión, el volumen y la masa, por lo que existen distintos métodos para preparar mezclas de gases, los cuales se describen a continuación:

- ⊕ Método de presión parcial: se aplica en mezclas que no requieren tanta exactitud, como lo son las mezclas industriales ya que su tolerancia es mayor del 5%. Este método consiste en medir la presión parcial de los gases cargados. Este método es económico y sencillo.
- ⊕ Método volumétrico: consiste en la utilización de una jeringa de inyección hermética para agregar una cantidad determinada de cierto componente por vía manométrica ordinaria, utilizando la técnica de hacer vacío en el cilindro. Este método es adecuado para la dosificación de pequeñas cantidades de gas, ya que es preciso y sencillo para preparar mezclas de ppm a bajo costo.
- ⊕ Método Gravimétrico: se aplica para mezclas que requieren un grado de exactitud mayor. Las mezclas se logran por medio del pesado de cada componente por separado y en balanzas preferiblemente electrónicas de alta precisión.
- ⊕ Flujo de masa: por este método se controla el flujo másico de cada uno de los gases, y se pueden preparar mezclas a nivel de ppm y porcentaje, con la ventaja que permite el llenado de múltiples cilindros al mismo tiempo.

### **Productos llenados en la Planta de Gases Especiales**

- ⊕ *Panel 901* está destinado al llenado de gases puros y mezclas inertes, obteniéndose los siguientes gases puros: Argón, Nitrógeno y Helio, y las siguientes mezclas: Mapax 0030, Mapax 0050, Mapax 0080 y Mezclas Certificadas balance

Argón o Nitrógeno. En este panel se emplea el trasegado directo en el caso de gases puros y el método de presiones parciales para la obtención de las mezclas.

✦ *Panel 931* a través del cual se llenan gases puros por trasegado directo y mezclas inertes y oxidantes por el método de presiones parciales y de flujo de masa. Los gases puros llenados en este panel son Argón, Nitrógeno, Oxígeno y Helio, y entre las mezclas se encuentran: Mapax 0030, Mapax 0050, Mapax 0070, Mapax 0080, Agamix 12, Agamix 15, Aire Sintético y Mezclas Certificadas.

✦ *Panel 941* destinado para el llenado de gases puros, mezclas inertes e inflamables, siguiendo los mismos métodos de preparación del panel 901. En este caso se llena Nitrógeno, Argón y Helio como gases puros y las siguientes mezclas: Argometa P5, Argometa P10, Mapax 0030, Mapax 0050, Mapax 0080, Agamix 32 y Mezclas Certificadas.

### 3. Certificación

En la producción de Gases Especiales, se debe tener un permanente control y monitoreo de cada una de las etapas del proceso: calidad de las materias primas, humedad interna de los cilindros y pureza del producto final. En tal sentido, hay conexión entre los paneles y el laboratorio para garantizar la calidad de cada una de las etapas.

Los productos finales del proceso deben ser verificados por lo que, al finalizar el llenado se toma un cilindro de cada lote y se analiza en el laboratorio, empleando modernas técnicas analíticas: cromatografía de gases, análisis capacitivo de trazas de humedad, análisis electroquímico de trazas de O<sub>2</sub>, entre otros. Los resultados conllevan a confirmar la pureza y/o composición requerida con la máxima precisión y los resultados se registran en certificados de análisis o declaraciones de conformidad de producto, los cuales recibe el cliente con cada cilindro.

## **Automatización**

La automatización implica la utilización de técnicas y equipos para el gobierno de un proceso industrial, de modo tal que el sistema funcione de forma autónoma, con poca o ninguna intervención humana, mediante mecanismos de medición y evaluación de las normas de producción que permita asegurar las condiciones del proceso. [Rodríguez, 2002]

En tal sentido, un sistema automatizado consta de dos partes principales: *La Parte Operativa* que son los elementos que actúan directamente sobre el proceso, tales como los accionadores de las máquinas o motores, compresores, válvulas, transmisores de presión, bombas, etc, y *La Parte de Mando* la cual es el centro del sistema basado en la tecnología programada, que se encarga de la toma de decisiones y de establecer el lazo de comunicación con todos los constituyentes del proceso automatizado, un ejemplo de ello son los autómatas programables. [D'Sousa, 2003]

Existen diferentes grados de automatización de acuerdo al nivel de control que se tiene sobre el proceso. En tal sentido se presenta la siguiente clasificación: *Control por vigilancia* en el cual se emplean solamente equipos de medición y el sistema trabaja en lazo abierto, *Control por operador* donde se disponen de equipos de medición y acción y el proceso opera en lazo abierto controlado por el operador y el *Control automático* o mando en lazo cerrado que requiere de equipos de medición, decisión y acción. [Foucher, 2003]

### **Etapas de la automatización**

Se han establecido las etapas que se deben seguir en un proceso de automatización [Rodríguez, 2002 y Foucher, 2003], las cuales se enumeran a continuación:

1. *Especificación*. En esta fase se busca conocer el proceso, estudiar las necesidades y seleccionar las variables a controlar.
2. *Diseño*. Luego de la comprensión del proceso, se debe seleccionar los sensores y accionamientos requeridos, realizar los algoritmos y seleccionar la tecnología.
3. *Implantación*. Consiste en instalar la instrumentación requerida y el bloque de decisión con su programación. En esta fase se realizan las simulaciones del proceso

y luego se integra la parte operativa con la parte de mando, lo que permite el arranque de la fase de prueba.

4. *Pruebas y Verificación.* Se refiere a la verificación de la actuación de la instrumentación de acuerdo al programa desarrollado, a fin de realizar los ajustes necesarios para lograr un funcionamiento correcto del sistema. Adicionalmente, una vez completada la instalación del control automático se requiere monitorear el proceso durante la operación normal, con el objetivo de afinar el programa y asegurar las condiciones deseadas.

### **Objetivos de la Automatización**

Con la automatización de un proceso se busca cubrir una serie de objetivos [D'Sousa, 2003 y Foucher, 2003], los cuales son:

- ⊕ Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- ⊕ Asegurar una calidad superior y constante en todos los productos.
- ⊕ Registrar eficientemente las alarmas y los eventos que ocurran durante el proceso, para que luego sean evaluados.
- ⊕ Mejorar las condiciones de trabajo creando tareas más nobles e incrementando la seguridad.
- ⊕ Realizar las operaciones difíciles de controlar intelectual o manualmente.
- ⊕ Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- ⊕ Integrar la gestión y la producción.

### ***Sistemas de Control***

El control automático se ha vuelto parte integral e importante de los procesos industriales siendo esencial en operaciones como el control de presión, temperatura y flujo. [Ogata, 1993].

La responsabilidad de un *sistema de control* es monitorear los subsistemas y proporcionar una interfaz al usuario. La estructura física del sistema de control consiste en una serie de computadores, equipos electrónicos, sensores y actuadores interconectados; mientras que la estructura no física está constituida por el programa que almacenará la información correspondiente al proceso que se desea controlar. Específicamente, *los componentes básicos de un sistema de control* son: el sensor, el transmisor, el controlador y el elemento final de control. La estructura donde se encuentran confinados los diferentes instrumentos de medición y control son llamados *Páneles*. [Collegepark, 2003]

*El sensor* o elemento primario es aquel que está en contacto con la variable a controlar y utiliza o absorbe la energía del medio para dar al sistema de medición la respuesta de la variación del parámetro controlado. [Foucher, 2003]

*El transmisor* es el instrumento que capta la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia a un instrumento indicador, registrador o controlador, es decir, convierte las variaciones del fenómeno físico en variaciones proporcionales de una variable eléctrica. La transmisión de la señal se puede dar en forma neumática de margen 3 a 15 psi o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. El sensor o elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor. [Creus, 1979 y Collegepark, 2003]

*El controlador* es el dispositivo de análisis y toma de decisiones ya que recibe la variable monitoreada y produce una salida para regular la variable manipulada de una manera específica. Las señales que se envían al controlador debe ser procesadas para ser entendidas por el computador digital, para ello se utilizan acondicionadores de señal cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. [Collegepark, 2003 y D'Sousa, 2003]

Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos del controlador, generalmente esta función es llevada a cabo por un circuito de conversión analógico/digital. El computador almacena esta información,

la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Simultáneamente, se muestra la información al usuario del sistema en tiempo real. [Collegepark, 2003]

*El elemento final de control* recibe la señal del controlador y modifica el agente de control a fin de ejercer la acción requerida sobre el proceso, es decir, es el dispositivo que controla directamente los valores de la variable manipulada, generalmente el elemento final de control es una válvula. [Creus, 1979 y Collegepark, 2003]

Al momento de implementar una automatización se debe establecer el sistema de control que aplica, según las características y las necesidades del proceso desarrollado. El control de un sistema se puede realizar de dos formas, a través de un control continuo o de un control secuencial. El *control continuo* se emplea cuando las variables físicas evolucionan de manera continua en el tiempo y se aplica para mantener en determinado valor de operación dichas variables, mientras que el *control secuencial* se emplea para procesos discontinuos donde no se busca mantener el valor de una variable sino realizar una serie de pasos en orden lógico, hasta alcanzar condiciones específicas requeridas. [Creus, 1979; D'Sousa, 2003 y Foucher, 2003]

### ***Controlador Lógico Programable***

*El PLC (Programmable Logic Controller)* o autómeta programable es el corazón del sistema automatizado, representa el bloque de decisión y se comunica con los elementos de medición, de acción y de diálogo. Este equipo ejecuta una serie de operaciones en forma secuencial y cíclica sin ninguna intervención, por lo que se califica como un autómeta. [Foucher, 2003]

Formalmente se define el PLC como el dispositivo electrónico que posee una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar cualquier proceso a través de módulos de entrada /salida digitales y analógicas. De

manera general, el PLC es toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. [González, 2001]

Antiguamente, los sistemas secuenciales en su gran mayoría se manejaban con relés electromecánicos, los cuales se diseñaban a base de diagramas eléctricos de escalera, sin embargo los inconvenientes de los sistemas con relés y el uso de la programación en los microprocesadores llevaron al desarrollo de una nueva herramienta: *El PLC* y a la aparición de la *Lógica Programada*. [Foucher, 2003]

Entre las ventajas que ofrece el PLC [Foucher, 2003], se encuentran:

- ⊕ Es más confiable que los sistemas basados en relés, debido principalmente a la robustez de sus componentes de estado sólido, comparada con las partes móviles de los relés electromecánicos.
- ⊕ Proporciona ahorro en los costos de material, instalación, localización y corrección de problemas, al reducir el cableado y los correspondientes errores de cableado.
- ⊕ Ocupa menos espacio que los relés, contadores, temporizadores y otros componentes de control.
- ⊕ Por ser programable y reprogramable es muy flexible frente a los cambios en los diagramas de control.

Por las ventajas que presenta un autómata programable, éste suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades: espacio reducido, procesos de producción cambiantes, instalaciones de procesos complejos y amplios, maquinaria de procesos variables y chequeo de programación centralizada del proceso. [González, 2001]

El PLC por sus especiales características de diseño, tiene un campo de aplicación muy extenso, la continua evolución de los Hardware y los Software amplía continuamente este campo para satisfacer las necesidades de los procesos. [González, 2001]

El ciclo de operación de un PLC se inicia con la *Adquisición de Entradas* que consiste en examinar los dispositivos de entrada externos para ver si tienen un voltaje presente o ausente (ON-OFF) y luego almacenar temporalmente ese valor (uno o cero) en un archivo de memoria. Seguidamente se realiza el *Tratamiento* donde se leen y ejecutan las instrucciones del programa, empleando el estado de las entradas, el PLC determina si una salida debe o no ser activada y el estado resultante de las salidas se escribe en otro archivo de memoria. Finalmente la *Actualización de las Salidas* procede a activar o desactivar los circuitos de salida, controlando así los dispositivos externos. [Foucher, 2003]

### **Componentes de un PLC**

Los componentes de un PLC básico [Collegepark, 2003 y Foucher, 2003], son los siguientes:

- ⊕ *Rack principal*: este elemento es sobre el que se conectan el resto de los elementos y va atornillado a la placa de montaje del armario de control. Puede alojar a un número finito de elementos dependiendo del fabricante y conectarse a otros racks.
- ⊕ *Fuente de alimentación*: es la encargada de suministrar la tensión y corriente tanto al CPU como a las tarjetas, ésta convierte el voltaje de entrada en un nivel adecuado para la electrónica interna y protege los componentes contra los picos de tensión. En general estos equipos se pueden alimentar con 110/220VCA para generar 24 VCC de salida, que es con la que se alimenta el CPU.
- ⊕ *CPU*: es el cerebro del PLC. Esta unidad contiene uno o varios microprocesadores, un conjunto de memorias y un programa o sistema operativo que dirige las actividades de operación, como son la ejecución del programa de aplicación, coordinación del ciclo de trabajo, diagnóstico, entre otros.
- ⊕ *Tarjetas entradas/salidas digitales*: se conectan al rack y permiten la comunicación con el CPU. En el caso de las entradas digitales transmiten los estados 0 o 1 del proceso (presostatos, detectores, etc) al CPU. En el caso de las salidas, el CPU determina el estado de las mismas tras la ejecución del programa y las activa o desactiva en consecuencia.



⊕ *Tarjetas entradas/salidas analógicas*: estas tarjetas leen un valor analógico e internamente lo convierten en un valor digital para su procesamiento en el CPU. Este cambio lo realizan los convertidores analógico-digitales internos de las tarjetas.

⊕ *Tarjetas especiales*: son módulos que poseen su propio procesador, microprograma e interfaces para realizar de manera autónoma ciertas funciones especializadas.

### **Programación de un PLC**

La programación de un PLC consiste en planificar la secuencia de instrucciones que se han de seguir en el proceso que se desea controlar [Salcedo, S/A]. Para lograr esto se deben seguir los siguientes pasos:

1. Identificación de variables constantes y actores involucrados en el problema, ya que son las tres cosas que pueden cambiar el problema o alterar su curso.
2. Planificación del programa: se elige el lenguaje de programación a trabajar y se crea el plan de trabajo.
3. Desarrollo del Algoritmo: se refiere a la estructuración de la secuencia lógica de pasos del proceso, mediante alguna de las técnicas de formulación de algoritmos.
4. Especificaciones: depende del lenguaje de programación ya que existen variables, constantes y actores que se deben declarar antes de comenzar la programación.
5. Codificación y Depuración: es la conversión del algoritmo en un programa traduciéndolo en un lenguaje de programación lo más eficientemente posible.
6. Verificación de errores: consiste en realizar corridas del programa agotando todas las pruebas posibles para que el mismo no falle al introducir ciertos valores o rangos de valores.
7. Prueba Final: es cuando se ejecuta el programa descargándolo en la memoria del PLC, para realizar pruebas de operación del proceso bajo la dirección del programa desarrollado.

### **Diagramas Lógicos de Flujo**

Un Diagrama Lógico de Flujo o DLF es la representación gráfica, mediante símbolos, de operaciones específicas dentro de un proceso. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de operación. El DLF es una de las técnicas de formulación de *algoritmos*, los cuales de manera general son la representación escrita de las reglas o instrucciones lógicas que intervienen en un proceso en particular [Salcedo, S/A].

La simbología utilizada para la elaboración de diagramas de flujo es variable y debe ajustarse a un patrón definido previamente [Salcedo, S/A], por lo tanto se deben tomar en cuenta las siguientes reglas:

1. Cada símbolo significa un tipo de operación.
  - Entrada/Salida.
  - Proceso
  - Decisión
  - Transferencia o bifurcación
2. Dentro de cada símbolo se escribe un comentario para indicar la operación o proceso específico que se ha de ejecutar.
3. Los diagramas de flujo se leen de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.
4. Una secuencia de operaciones se ejecuta hasta que un símbolo terminal designa el final de la ejecución o un conector de bifurcación transfiere el control a otro punto del diagrama.

Las estructuras básicas que se pueden presentar en el desarrollo de un DLF [Castro, 1999], son las siguientes:

⊕ *Secuencial*: es aquella en la que una acción (instrucción) sigue a otra en secuencia. Las tareas se suceden de tal modo que la salida de una es la entrada de la siguiente y así sucesivamente hasta el fin del proceso. La estructura secuencial tiene una entrada y una salida. Su representación gráfica es la mostrada en la figura 1.

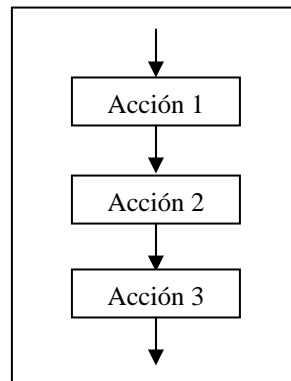


Figura 1. Estructura Secuencial

⊕ *Condicionales*: se emplea cuando existen un número de posibles alternativas resultantes de la evaluación de una determinada condición. Las estructuras selectivas se utilizan para tomar decisiones lógicas; de ahí que se suelen denominar también estructuras de decisión o alternativas.

En las estructuras selectivas se evalúa una condición y en función del resultado la misma realiza una opción u otra. Las condiciones se especifican usando expresiones lógicas. Las estructuras selectivas o alternativas pueden ser: simples o múltiples.

Alternativa Simple (si-entonces/if-then): La estructura alternativa simple *si-entonces* (en inglés *if-then*) ejecuta una acción cuando se cumple una determinada condición. En la figura 2 se muestra la gráfica de la estructura condicional simple.

- Si la condición es *verdadera*, entonces ejecuta la acción S1 (o acciones caso de ser S1 una acción compuesta y constar de varias acciones).
- Si la condición es *falsa*, entonces no hacer nada.

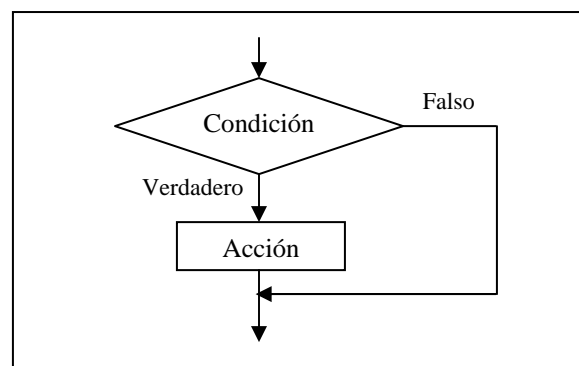


Figura 2. Estructura Condicional Alternativa Simple

Alternativas Múltiples (según sea, caso de/case): Cuando existen más de dos elecciones (alternativas) posibles, es cuando se presenta el caso de alternativas múltiples. La estructura de decisión múltiple evaluará una expresión que podrá tomar  $n$  valores distintos  $1,2,3,4,..n$ . Según se elija uno de estos valores en la condición, se realizará una de las  $n$  acciones, o lo que es igual, el flujo del algoritmo seguirá un determinado camino entre los  $n$  posibles. La representación gráfica se muestra en la figura 3.

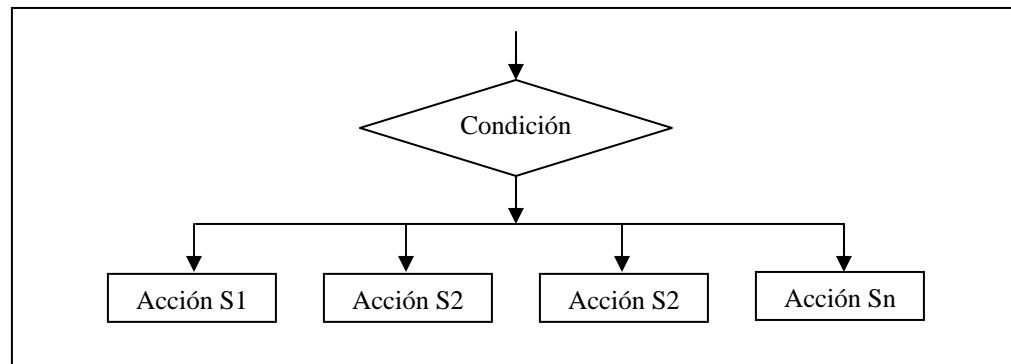


Figura 3. Estructura Condicional Múltiple Alternativa

⊕ *Repetitiva*: Las estructuras que repiten una secuencia de instrucciones un número determinado de veces se denominan Bucles. Entre las estructuras repetitivas se encuentran:

Estructura Mientras (while): la estructura repetitiva while, es aquella en que el cuerpo del bucle se repite mientras se cumple una determinada condición, su representación gráfica se presenta en la figura 4.

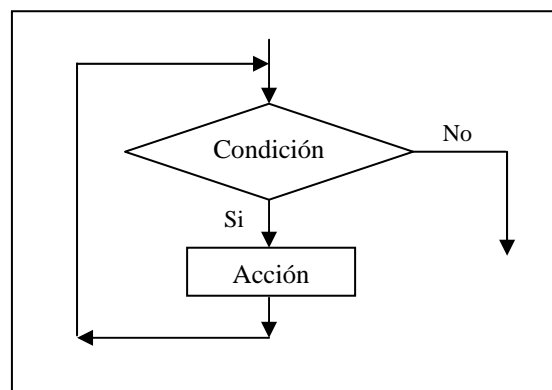


Figura 4. Estructura repetitiva Mientras

Estructura Repetir (repeat): Esta estructura se ejecuta hasta que se cumpla una condición determinada que se comprueba hasta el final del bucle. Se ejecuta al menos una vez. El bucle *repetir-Hasta que* se repite mientras el valor de la expresión booleana de la condición sea falsa, justo la opuesta de la sentencia *mientras*. Gráficamente esta estructura se encuentra representada en la figura 5.

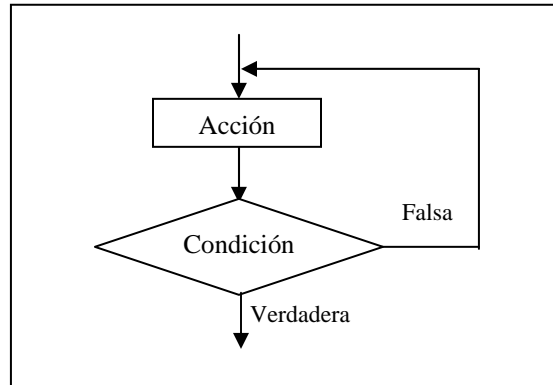


Figura 5. Estructura repetitiva Repetir

Estructura Desde/Para (for): en muchas ocasiones se conoce de antemano el número de veces que se desean ejecutar las acciones de un bucle. En estos casos en el que el número de iteraciones es fija, se debe usar la estructura *desde* o *para*. La estructura *Desde* ejecuta las acciones del cuerpo del bucle un número específico de veces y de modo automático controla el número de iteraciones o pasos a través del cuerpo del bucle. En la figura 6 se puede observar la representación de esta estructura.

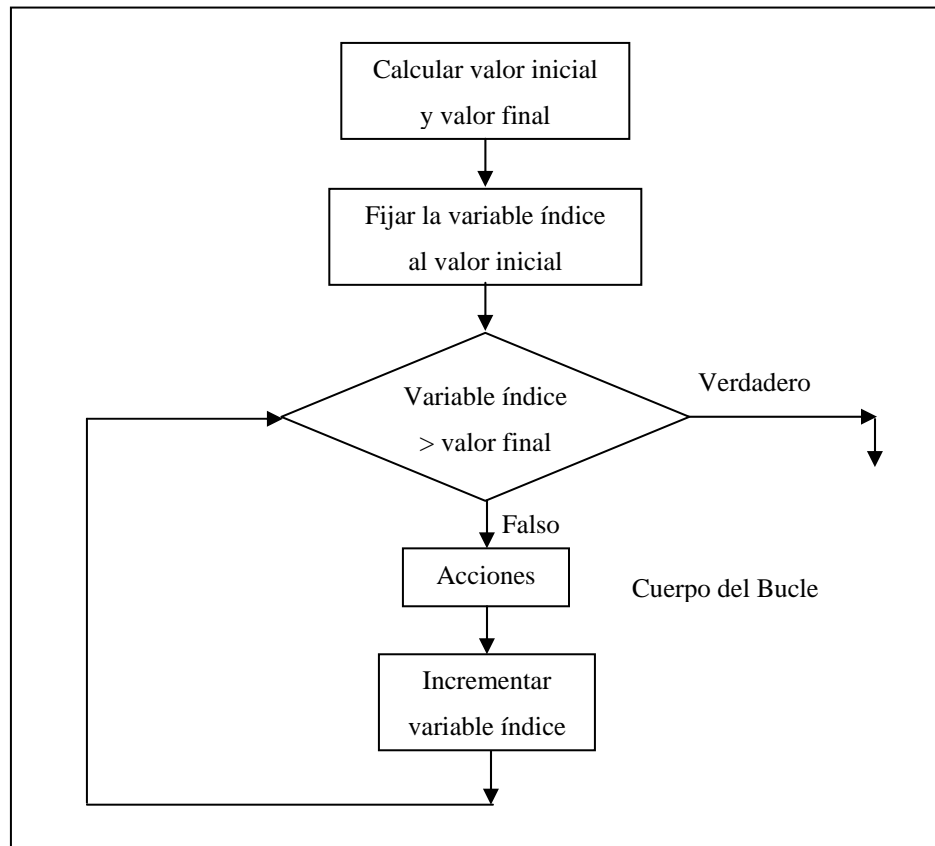


Figura 6. Estructura repetitiva Desde / Para

## ***Sistema SCADA***

SCADA viene de las siglas de *Supervisory Control And Data Acquisition*, es decir, adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre computadores y tecnologías de comunicación, con la finalidad de automatizar el monitoreo y control de procesos industriales a distancia desde la pantalla de un computador, dando la posibilidad al operador de planta de supervisar e intervenir en dichos procesos. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios en tiempo real. [Collegepark, 2003]

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA [Collegepark, 2003], están las siguientes:

1. Recabar, almacenar y mostrar información en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
2. Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador.
3. Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
4. Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

*El i-FIX* es una familia de software con diversos componentes de alto desempeño que proveen soluciones de automatización para procesos de batch, PLC virtuales y aplicaciones de internet [Gefanuc, 1997]. Este SCADA ha sido utilizado para la automatización de importantes empresas de la organización AGA como: Maratón 1 y 2 en Venezuela, Caribe y Monserrate en Colombia, Coloso y Codos en Chile, Tango y Recolecta en Argentina y Cubatao en Brasil. (R. Gómez, correo-e, Febrero 2, 2004).

---

***CAPÍTULO III***  
***METODOLOGÍA***



La metodología desarrollada en el presente Trabajo Especial de Grado se fundamenta en las cuatro fases o etapas de un proceso de automatización, explicadas en el Capítulo II de este trabajo, las cuales son: Especificación, Diseño, Implantación, Pruebas y Verificación.

### ***I. Especificación***

El estudio de los procesos desarrollados en la Planta de Gases Especiales se inició con el desarrollo de dos trabajos de pasantía, dedicados a evaluar la situación actual y proponer mejoras en los Páneles 901<sup>[1]</sup> y 921<sup>[2]</sup>. Posteriormente, se procedió a conocer los procesos desarrollados en los Páneles 931 y 941, para lo cual fue necesario consultar los documentos disponibles de su funcionamiento y revisar los diagramas de flujo de proceso existentes, lo que permitió identificar la instrumentación que conforma dichos páneles de llenado.

Para comprender como operan los sistemas a estudiar se contó con la asesoría de los técnicos, junto a los cuales se realizaron varios seguimientos de llenados en planta durante la operación normal del Panel 931 y para el Panel 941 se llevó a cabo un adiestramiento a través del Panel 901, ya que la configuración implementada durante el armado de dicho panel es similar a la que posee el Panel 901. Estos seguimientos de planta fueron realizados en dos etapas: la primera consistió en observar, anotar y comprender cada paso del proceso, y en la segunda etapa se realizaron seguimientos minuciosos donde se contabilizaron los tiempos requeridos para completar cada paso del proceso.

Los seguimientos de los procesos en planta permitieron identificar la función de la instrumentación dentro de cada panel, así como el estado en el cual se encontraban al momento de iniciar el proyecto. Esta tarea se realizó para todos los páneles, a través de un

formato donde se registró cada instrumento con su correspondiente diagnóstico. Adicionalmente, se generó una lista que contempla las especificaciones requeridas por la instrumentación en cada proceso.

En esta etapa se generó una descripción general de los procesos, donde se lista los pasos básicos que se deben cumplir para la operación de cada uno de los sistemas que conforman la Planta de Gases Especiales, lo que requirió ahondar en el funcionamiento de los procesos mediante un continuo feed-back con los técnicos de llenado y una continua visualización de los sistemas durante la operación. Es importante señalar que este proyecto se basa en el funcionamiento original de los paneles, por lo cual la operación y las variables a controlar ya estaban especificadas.

Durante la familiarización de los procesos se reafirmó la necesidad de realizar cambios en la planta y en los paneles 901 y 921, y se plantearon mejoras para el tercer panel operativo Panel 931, cambios y mejoras que buscan aumentar la productividad y/o seguridad de las operaciones. Algunas de estas propuestas implican cambios grandes que involucran costos, tiempo y paradas de planta, por lo que no pudieron realizarse durante el desarrollo de esta tesis. De las mejoras no concretadas se deja el registro de la propuesta con su correspondiente justificación y beneficios asociados, mientras que para las mejoras concretadas, los trabajos realizados se describen en la etapa de Implantación.

## ***II. Diseño***

Luego de comprender el funcionamiento de la Planta de Gases Especiales, se actualizaron los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) y se realizaron los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) de cada uno de los sistemas. Es importante señalar que tanto los DFP como los DTI fueron generados bajo dos condiciones: en la primera se presentan los sistemas con las condiciones actuales de la planta, es decir, con las mejoras implementadas; mientras que la otra condición considera tanto las mejoras implementadas como las propuestas. Ambos diagramas fueron desarrollados empleando como herramienta el

programa Visio, bajo los lineamientos de las normas PDVSA y considerando las normas ISA para los sistemas de control.

A partir de los seguimientos de los procesos desarrollados en la etapa de Especificación, se identificó la necesidad de garantizar que se realicen los mantenimientos preventivos de la instrumentación y equipos que conforman los paneles de forma adecuada, por lo que se revisaron y mejoraron las tareas de mantenimiento contempladas en los formatos de las órdenes de servicio que se generan semestralmente en la planta, puesto que el formato anterior era general y aplicaba a los diferentes paneles.

Para completar estos formatos específicos se debió identificar las tareas requeridas en el mantenimiento preventivo, los procedimientos adecuados y las condiciones propias de cada panel. Para lograr esto se requirió un continuo feed-back con los técnicos que conocen y manejan a fondo cada sistema, y con los contratistas que han desarrollado los mantenimientos para profundizar en la forma en que se realizan los trabajos. Una vez generadas las nuevas órdenes de servicio fueron discutidas y revisadas con los técnicos de planta quienes aportaron sus ideas para completar la mejora.

En esta etapa de Diseño se realizó el Diagrama Lógico de Flujo (DLF) del Panel 941, lo que permitió el desarrollo de la programación para el funcionamiento automático con el sistema de control a implementar. Cabe destacar que el DLF desarrollado está basado en los programas que se establecieron originalmente para el funcionamiento de la planta, pero se les incluyeron los cambios que responden a las necesidades actuales.

El desarrollo del DLF implicó conocer a fondo el proceso de llenado de gases puros y de mezclas que se lleva a cabo en el Panel 941, lo que permitió identificar las variables y constantes involucradas en cada etapa del proceso. Es importante señalar que para la elaboración del DLF se definió una simbología basada en las pautas generales de la diagramación. En este proceso fue fundamental la participación de los técnicos de planta quienes aportaron en todo momento sus conocimientos para concretar la secuencia de pasos y los ciclos requeridos en el programa.

Adicionalmente, fue necesario analizar los seguimientos realizados en el Panel 901 durante la etapa de Especificación, lo que permitió determinar los tiempos que implica cada etapa del proceso, información indispensable para el desarrollo de los DLF.

En esta misma etapa se desarrollaron los Protocolos de Prueba basados en las instrucciones planteadas en el DLF. Dichos formatos serán utilizados para verificar la operatividad del sistema en las simulaciones planteadas en la etapa de Implantación y durante los llenados programados en la etapa de Pruebas y Verificación, lo que permitirá llevar un registro del cumplimiento satisfactorio o insatisfactorio de la actuación de la instrumentación de acuerdo a cada paso establecido.

En lo que se refiere a la selección de la tecnología empleada en el desarrollo de este proyecto, la misma estuvo a cargo del personal de proyectos de automatización, quienes definieron el tipo de PLC a emplear, las especificaciones, la cantidad de módulos y el SCADA requerido, registros que quedan en este trabajo.

### ***III. Implantación***

Paralelo a la etapa de Diseño, se procedió a implementar los acondicionamientos y las mejoras más importantes de la planta, así como la reactivación del Panel 941, tareas que una vez concretadas dieron paso a la actualización del sistema de control.

#### **1. Acondicionamiento de la Planta**

El acondicionamiento de la planta implicó una serie de trabajos basados en las propuestas planteadas, de los cuales fueron realizados aquellos acondicionamientos y mejoras necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los procesos involucrados directamente con el alcance de esta tesis. A continuación se describen los pasos seguidos en esta etapa del proyecto.

### ***1.1. Acondicionamiento de los Páneles***

Para verificar e identificar el estado de los instrumentos, se realizó un mantenimiento preventivo y correctivo de cada uno de los páneles, basado en las instrucciones contenidas en las órdenes de servicio mejoradas. Información que pasó a complementar el diagnóstico de la instrumentación iniciada en la etapa de Especificación.

Para este mantenimiento se requirieron varias cotizaciones que, en conjunto con el Departamento de Compras, permitieron seleccionar y contratar el servicio. Para la realización de los trabajos, los páneles fueron repartidos entre los operadores e ingenieros de planta, de modo que se garantizó el seguimiento y la supervisión durante la realización del trabajo y la posterior verificación una vez concretado el mantenimiento.

El reporte de estos trabajos a los ingenieros de planta fue fundamental para la toma de decisiones y la compra de los materiales e instrumentos que, durante el desarrollo del trabajo, se detectaron como dañados o que requerían sustitución. Es importante señalar que las fallas detectadas durante este mantenimiento fueron registradas en la parte final de las órdenes de servicio y los acondicionamientos o sustituciones evidenciadas se realizaron de acuerdo a la disponibilidad de los recursos y materiales necesarios.

Adicional a las tareas contempladas en las órdenes de servicio, existen otros acondicionamientos definidos durante los seguimientos de la operación de los páneles realizada en la etapa de especificación. Este tipo de trabajos no son incluidos en las órdenes de servicio por requerir de un personal calificado externo o porque son mantenimientos puntuales que responden a necesidades actuales de la planta. De los acondicionamientos específicos planteados, a continuación se presentan las tareas desarrolladas durante el desarrollo de este trabajo.

✦ *Verificación del ajuste y calibración de los transmisores de presión*, mantenimiento requerido para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas. Para esto se generó una orden de servicio para todos los transmisores de la planta y se solicitó al

Departamento de Compras las cotizaciones de este servicio a instituciones certificadas por SENCAMER. Una vez contratado el personal calificado se procedió a coordinar las operaciones, mediante la planificación respectiva que permitió calibrar y ajustar los transmisores por etapas de acuerdo a las necesidades de la planta, evitando así que se afectara la producción.

✦ *Mantenimiento de las líneas de venteo* de los páneces de llenado, el cual consistió en la sustitución de los sellos mecánicos (o-ring) del silenciador instalado a la descarga de esta línea, asegurando de esta forma que los niveles de ruido permanezcan dentro de los límites de tolerancia establecidos para garantizar la seguridad y disminuir los riesgos al personal de planta. Para la realización de esta tarea se requirió el servicio de un contratista que, tomando las medidas de seguridad pertinentes, realizó el cambio mencionado.

✦ *Mantenimiento de las bombas de vacío de sello hidráulico.* A pesar que dentro de las órdenes de servicio se contempla una revisión de las bombas de vacío, dichas tareas son generales, por lo que se planteó la realización de un mantenimiento completo que garantice el proceso para la operación automática. Este mantenimiento se realizó por etapas, iniciándose con las bombas que se encontraban fuera de servicio y una vez verificado su estado se procedió a sustituirlas por los equipos de los páneces operativos evitando así detener los procesos. Es importante señalar que para el momento en que se realizó este servicio se disponían de dos bombas fuera de servicio: la del Panel 941 y una bomba de respaldo que posee la planta. Una vez realizado el mantenimiento se procedió a acoplar en los sistemas donde fue posible, un banco de prueba con un manómetro de vacío que permitió verificar los trabajos realizados y el estado de las bombas.

✦ *Mantenimiento de las solenoides*

Para garantizar el buen funcionamiento de las solenoides de las válvulas neumáticas y eliminar las fugas en las mismas, se realizó un mantenimiento de sus partes internas para sustituir piezas desgastadas y eliminar suciedad acumulada, adicionalmente se revisó el

voltaje suministrado para su normal funcionamiento. Para la realización de este trabajo se contrató al personal capacitado y los trabajos se realizaron por etapas, comenzando por las válvulas solenoides del Panel 941 por estar éste fuera de servicio, para posteriormente sustituir las revisadas por las que se encontraban en los paneles operativos.

### ***1.2. Implementación de Mejoras***

De las mejoras propuestas en la fase inicial de este trabajo, cinco de ellas fueron concretadas. A continuación se presentan los pasos seguidos para llevar a cabo los cambios ejecutados.

#### **⊕ *Instalación de un sistema de suministro de CO<sub>2</sub>***

Esta instalación fue propuesta para mejorar la productividad de la planta mediante la disminución del tiempo de llenado de mezclas con CO<sub>2</sub>. Para esto fue necesario solicitar al Departamento de Mantenimiento de Cilindros la preparación de tres bancos de CO<sub>2</sub>, es decir tres paletas con 12 cilindros de igual capacidad ensamblados con las respectivas conexiones de tuberías y una válvula principal.

Luego se realizó un diagrama de flujo del sistema a instalar y se generó una lista de los materiales requeridos, para solicitar al Departamento de Compras las cotizaciones de servicio (contratistas) y de los materiales requeridos. Es importante señalar que durante la instalación de este sistema se empleó el equipo orbital de soldadura TIG para disminuir el riesgo de difusión y garantizar la pureza de la materia prima, por lo que se tramitó la disponibilidad de este equipo al Departamento de Servicio Técnico. Por esta misma razón, en la selección del contratista se debió verificar que dicho personal tuviese conocimiento en el manejo de este equipo.

Al tener disponibles los materiales requeridos, la máquina de soldadura orbital y el personal capacitado, se procedió a llenar junto con el contratista encargado el Permiso de Trabajo, el cual es un formato que dispone la empresa para garantizar las condiciones de trabajo y la seguridad al personal involucrado. Posteriormente se realizó la instalación, incluyendo la realización de varios barridos de las líneas con N<sub>2</sub> para

eliminar cualquier impureza en el sistema y pruebas de fugas presurizando el sistema y usando snoop. Durante este trabajo se contó con la supervisión respectiva, verificándose la concordancia del trabajo con el diagrama de flujo planteado y velando por la seguridad y estética de la instalación.

Por último se realizaron pruebas de llenado de mezclas con CO<sub>2</sub> empleando el pulmón, a fin de determinar el tiempo de llenado y evaluar el comportamiento de los sistemas para identificar posibles ajustes que garanticen la mejora planteada. Adicionalmente, estas pruebas permitieron evidenciar las ventajas del cambio realizado.

#### ✦ *Cambio de la disposición de las solenoides*

Este trabajo se realizó siguiendo las recomendaciones del fabricante, quien indica que el tipo de válvulas solenoides dispuestas en planta deben ir preferiblemente montados en posición vertical y hacia arriba, para disminuir la posibilidad de que se depositen partículas de suciedad en la camisa de la corredera piloto, entorpeciendo el normal funcionamiento de la solenoide. Al estar las válvulas de los paneles en posición diferente a la recomendada se le planteó al mismo contratista que realizó el mantenimiento de las solenoides, el cambio de la posición en aquellos paneles donde el espacio lo permitió. Para esto se requirió desacoplar las conexiones eléctricas y neumáticas de las solenoides, desmontarlas, cortar la base que estaba, rotarla y acoplarla en la nueva posición. Seguidamente se pintó la base y se procedió a realizar nuevamente el montaje de dichas válvulas, todo esto bajo la respectiva supervisión.

#### ✦ *Cambio del diseño de las arañas.*

En los paneles de llenado se disponen de estructuras llamadas arañas a través de las cuales se conectan los cilindros a los sistemas. Estas arañas están constituidas por 12 tramos de tubería flexible, los cuales están acoplados mediante tramos de tubería a un manifold que posee 12 salidas y 1 entrada.

El diseño anterior de las arañas originaba que cuando se acoplaban los flexibles a los cilindros éstos se veían forzados por los cambio de curvatura, lo que disminuye su vida útil. Frente a esta situación, se plantearon conversaciones en el equipo de trabajo,



incluyendo a los técnicos de planta y al contratista involucrado, de donde surgió el nuevo diseño del sistema. Al concretarse el diseño, se procedió a realizar el trabajo bajo los parámetros establecidos y considerando las medidas de seguridad pertinentes.

### ***1.3. Reactivación del Panel 941***

La reactivación de este panel se basó en los DTI desarrollados en la etapa de Diseño, considerando las medidas de seguridad para la manipulación de gases inflamables y tomando en cuenta las mejoras planteadas para los paneles operativos de acuerdo a los estudios desarrollados previamente.

Para este trabajo en primer lugar fue necesario, de acuerdo a la lista de instrumentos generada en la etapa de Especificación, realizar un inventario de los materiales e instrumentos que se encontraban disponibles en la planta, para luego identificar aquellos que faltaban. Cabe destacar que las tuberías a emplear en los sistemas para Gases Especiales deben ser de acero inoxidable y electropulidas, para evitar la corrosión y garantizar la pureza de las materias primas.

Para este trabajo, se elaboró un Diagrama de Distribución Física de las tuberías y de la instrumentación dentro de la estructura que constituye el panel, a fin de aprovechar el espacio, mejorar la disposición de las tuberías de alimentación, garantizar el orden y la estética de la instalación. Adicionalmente, a partir de este diagrama se pudo determinar los metros de tuberías requeridos para completar el trabajo.

Una vez que se seleccionó la instrumentación y los materiales que cumplen con las especificaciones, se solicitaron las cotizaciones respectivas a través del Departamento de Compras y cuando se dispuso de los mismos, se contactó a varios contratistas que presentaron sus ofertas para el servicio de instalación. Una vez contratado el servicio, se procedió a llenar el formato de Permiso de Trabajo en conjunto con el personal encargado, lo que permitió garantizar condiciones seguras de operación.

El trabajo se inició desmontando las tuberías y la instrumentación que se encontraba dentro del panel, sin manipular las líneas de alimentación. Se realizaron e instalaron los soportes que hacían falta y se presentó la instrumentación en las posiciones estipuladas en el diagrama de distribución física, lo que permitió determinar la disposición en que se iban a colocar las tuberías y las medidas requeridas en cada tramo.

Seguidamente, se desmontó la instrumentación y mientras se realizaban los cortes y doblados de las tuberías, se pintó la estructura que conforma el panel. Posteriormente, se procedió a colocar la instrumentación en los soportes correspondientes y se comenzaron a acoplar y soldar las tuberías, todo esto en la estructura interna del panel.

Para realizar los acoples de las líneas del panel con las alimentaciones, fue necesario coordinar los trabajos en días no laborables para no afectar la producción, ya que se requirió cortar el suministro de gas y despresurizar las líneas de alimentación, lo que permitió garantizar las condiciones y poder continuar con la instalación en forma segura. En esta etapa se determinó el recorrido de las tuberías de alimentación y los puntos de entrada de las mismas al panel, lo que permitió cortar y doblar los tramos de tubería requeridos para alcanzar la distribución planteada. Adicionalmente, en esta etapa se requirió la realización e instalación de soportes externos que dieran estabilidad y seguridad a las líneas de alimentación del panel.

En lo que se refiere al acondicionamiento de la línea de vacío de este panel, en la misma se realizó una reorganización de la instrumentación para incluir la válvula neumática de vacío principal, la cual es una válvula que no estaba en el diseño original del panel. Esta tarea requirió fabricar unos conectores para esta válvula, realizar el desmontaje de la válvula manual existente, cortar la tubería, soldar los conectores y acoplar la instrumentación de acuerdo al orden planteado en el DFP, para finalmente proceder a pintar esta tubería. Al igual que para las líneas de alimentación, en la tubería de vacío se le realizó una mejor sujeción al fabricar e instalar más soportes.

Adicionalmente, en el punto de unión de la línea de vacío con las líneas del panel se procedió a eliminar unos conectores, sustituyéndolos por tramos de tubería y conexiones soldables. Esta tarea requirió la fabricación de las conexiones requeridas y para el acople con el sistema se empleó el equipo orbital de soldadura TIG.

Otro trabajo realizado para completar la instalación del Panel 941, fue la sustitución de las válvulas solenoides por un modelo actual, ya que el modelo dispuesto anteriormente en la planta es antiguo y el mercado no ofrece repuestos. Es por esto que se procedió a identificar el tipo de solenoide requerido en planta para posteriormente solicitar a través del Departamento de Compras la cotización de varias marcas, a partir de los cuales se realizó la selección.

Cuando se concretó la compra de dichas válvulas se contactó a dos contratistas: uno para que realizara la instalación eléctrica de las mismas y a otro para completar la instalación neumática de alimentación a los manifold y de suministro a las válvulas neumáticas del panel.

Durante la realización de todos los trabajos descritos anteriormente se contó con la supervisión respectiva de los técnicos e ingenieros de plata, quienes fueron indispensable en la toma de decisiones y velaron por la seguridad y estética de la instalación.

Es importante destacar que la reactivación del Panel 941 no pudo concretarse para este Trabajo Especial de Grado debido al retraso presentado en la importación de ciertos instrumentos fundamentales para la operación del panel. Es por esto que queda como resultado los pasos a seguir para completar este objetivo.

## **2. Actualización del sistema de control**

Para la actualización del sistema de control se debieron realizar tres trabajos de forma simultánea, cada uno realizado por distintos actores bajo la coordinación, apoyo y supervisión requerida. Estos trabajos fueron: la revisión del cableado, la programación del

PLC y el diseño de los esquemáticos. Finalizados estos tres trabajos se procedió a simular el proceso y a acoplar la parte operativa con la parte de mando.

*La revisión del cableado* y de las conexiones eléctricas existentes se realizó tanto para el Panel 941 como para el resto de los sistemas, previendo a futuro la continuación del proyecto. Este trabajo consistió en la verificación de la continuidad de las señales desde la sala de control hasta la planta, para lo cual se procedió a puentear dos cables y se energizó uno de ellos verificando la señal en el otro cable con un ohmiómetro. Adicionalmente, se verificó el estado físico de los cables realizando una prueba similar donde se energizaban los cables pero se verificaba con tierra.

Luego de verificar el estado de los cables se procedió a actualizar la identificación de cada uno de ellos, mediante la comparación de la señalización que se encontraba físicamente en los cables, basada en los diagramas de flujo anteriores, con la identificación actualizada de los nuevos DFP.

En esta misma etapa se incluyó la realización del nuevo panel de control, donde se dispuso el PLC, la fuente de poder, los interruptores de alimentación a los módulos y las bornas. Adicionalmente, alrededor de todo el nuevo panel de control se dispusieron canaletas para organizar los cables. Para concretar este trabajo se debió decidir la ubicación del panel de control, para luego mandar a realizar la placa donde va cada una de las partes antes descritas.

Una vez lista la placa se procedió a armar el nuevo panel de control y a realizar los acoples de los cables de todos los pánels en las bornas con su correspondiente identificación. Es importante destacar que el acople de los cables del Panel 941 fue directo por encontrarse éste fuera de servicio, mientras que para los acoples de los pánels operativos (Panel 901, 921 y 931) se requirió puentear las señales, es decir, desacoplar los cables de los PLC antiguos, acoplarlos en las bornas del panel de control nuevo y de allí sacar un cable que regresa al PLC antiguo de forma que la señal se mantuviese y los pánels permanecieran operativos.

*La programación del PLC* se inició con la asignación de las direcciones de cada señal, asociada a la instrumentación de los sistemas, en los diferentes módulos que conforman el PLC, tarea que se realizó para todos los paneles.

Por la limitante de tiempo, en esta tesis sólo se contempla la programación del proceso desarrollado en el Panel 941, el cual se basó en el Diagrama Lógico de Flujo (DLF) desarrollado en la etapa de Diseño. Esta tarea estuvo a cargo del personal de proyectos de automatización, quienes debieron entender la finalidad del proceso, comprender la secuencia de pasos para alcanzar cada etapa, para posteriormente traducir los DLF al lenguaje Ladder o de escalera e ir programando el PLC.

Debido a que el personal encargado de esta tarea se encuentra en AGA Fano-Colombia el intercambio de información en esta parte se realizó vía electrónica y mediante el uso del programa pc-Anywhere, con el cual se pudo manipular a distancia el computador destinado para la automatización de la planta. Frente a esta limitante, al inicio del proyecto se realizó una visita de un técnico de este equipo a Venezuela, para que conociera la Planta de Gases Especiales y fuera visualizando los procesos y cada dispositivo e instrumento asociado.

Para facilitar la comprensión del proceso, se mantuvo un constante feed-back con los programadores y se les enviaron vía mail todos los documentos descriptivos del proceso desarrollado en el Panel 941, lo que permitió aclarar dudas y ayudó a interpretar el DLF. Una vez comprendido el proceso, parte de este equipo procedió a desarrollar el programa del PLC a través de una computadora en un software llamado CX-Programmer. Culminado el programa, se realizó la descarga del mismo en el CPU del PLC.

*El diseño de los esquemáticos* consistió en desarrollar las pantallas que desde la computadora servirán de interfase entre los operadores y los paneles. Para esta tarea se generaron pantallas modelo en PowerPoint para la introducción de datos y para el control del proceso se realizaron esquemas basados en los DFP, desarrollados en la etapa de Diseño. Con esta información uno de los ingenieros del equipo de automatización conocedor del

software i-FIX desarrollo los esquemáticos. En esta etapa se mantuvo el feed-back entre las partes a fin de mantener en la medida de lo posible los diseños, parámetros y modelos establecidos.

Una vez culminados los tres pasos anteriores, se debe validar la programación desarrollada del proceso para verificar la operatividad del mismo antes de realizar los acoples entre la parte operativa y la parte de mando. Para cumplir con esto se deben realizar corridas del proceso e ir verificando cada uno de los pasos, a través de unos equipos que permitan simular las señales del proceso. Esta tarea no pudo ser desarrollada durante esta tesis por no concretarse la reactivación del Panel 941, por lo que se deja el registro de los pasos a seguir.

#### ***IV. Pruebas y Verificación***

La culminación de la automatización de un proceso es la prueba y verificación del programa desarrollado, etapa de la automatización que no pudo ser cumplida durante el desarrollo de este trabajo especial de grado por implicar tiempo, del cual no se dispuso, para la realización de múltiples llenados en planta con sus análisis de calidad correspondientes.

Sin embargo, como el proyecto continúa queda como resultado de esta tesis los protocolos de prueba desarrollados en la etapa de Diseño, así como los requerimientos y los pasos que deben seguirse para completar esta etapa.

---

***CAPÍTULO IV***  
***RESULTADOS***

## ***ESPECIFICACIÓN***

### ***Seguimientos del Proceso Productivo***

Los seguimientos de los procesos desarrollados en la Planta de Gases Especiales permitieron concretar los procedimientos establecidos para la producción de estos gases de alta pureza y los tiempos asociados a cada una de las etapas. Es importante señalar que sólo se determinaron los tiempos del proceso de llenado debido a que este trabajo de grado se dedicó a la Automatización del Panel de llenado 941.

### **Procedimientos de Producción de Gases Especiales**

En líneas generales los procesos ejecutados en la planta están conformados por tres etapas: el montaje, el proceso propiamente dicho y el desmontaje. De estos procesos, tanto el montaje como el desmontaje son etapas manuales donde se hace necesaria la participación de los operadores.

Cada una de estas etapas implica una serie de pasos que van a depender del proceso a desarrollar, diferenciándose dos procesos principales: el Tratamiento que se lleva a cabo en el Panel 921 y el Llenado por el método de presiones parciales desarrollado en los Páneles 901, 931 y 941.

#### ***Proceso de Tratamiento – Panel 921***

##### ***1. Montaje***

Esta etapa consiste en colocar los cilindros a tratar con sus válvulas cerradas en la cesta del horno, para luego conectarlos al sistema, al realizar los acoples de los flexibles con los cilindros y del colector con la cesta.



Seguidamente el operador debe despresurizar el remanente de gas contenido en los cilindros para finalmente colocar el selector de gas (SG-921) en la línea del gas a emplear para el tratamiento. En la figura 7 se observa el procedimiento descrito.



Figura 7. Montaje de un Proceso de Tratamiento

## 2. Tratamiento

Una vez completada la conexión entre los cilindros y el sistema se da inicio al proceso de tratamiento, el cual está constituido por tres etapas: preparación del sistema, calentamiento y purga de los cilindros.

En la preparación del sistema se realiza la prueba de fuga y se completa el montaje al introducir la cesta en el horno y cerrar las puertas del mismo. En la figura 8, se puede observar la prueba de fuga realizada en esta etapa del proceso.



Figura 8. Prueba de Fuga en un Proceso de Tratamiento

Seguidamente, se inician las etapas de calentamiento y purga de forma simultánea, donde se busca disminuir la humedad de los cilindros al elevar la temperatura hasta 130° y realizar ciclos de purga con gas inerte. El tratamiento finaliza al realizar la correspondiente prueba de humedad en el laboratorio.

### 3. Desmontaje

Finalizado el tratamiento el técnico de planta realiza el desmontaje, para lo cual debe retirar la cesta del horno, desacoplar el colector del sistema y esperara a que los cilindros se enfríen. Posteriormente procede a cerrar las válvulas de los cilindros, para finalmente desacoplarlos del sistema al desconectar los flexibles. Este procedimiento se puede observar en la figura 9.



Figura 9. Desmontaje de un Proceso de Tratamiento

En el Anexo A del presente trabajo se muestra de forma detallada cada uno de los pasos que se deben seguir en las diferentes etapas del Proceso de Tratamiento de cilindros, desarrollado en el Panel 921.

### **Proceso de Llenado - Páneles 901, 931 y 941**

#### 1. Montaje

A diferencia del montaje que se realiza para el proceso de tratamiento, esta etapa para el llenado es más sencilla, ya que se lleva a cabo en las mismas paletas donde vienen los cilindros, tal como se observa en la figura 10. Para esto, el operador de planta debe verificar que las válvulas de los cilindros estén cerradas y posteriormente conectar los cilindros al sistema a través de los flexibles de la araña. El paso final de esta etapa es colocar el selector de gas en la línea del gas a emplear.



Figura 10. Montaje de un Proceso de Llenado

## 2. Llenado

En los Páneles 901, 931 y 941 se emplea el método de presiones parciales para el llenado de Gases Puros o de Mezclas. Previo al desarrollo del llenado se debe realizar la prueba de fuga y el acondicionamiento de las líneas del panel y de los cilindros, lo que permite garantizar la pureza requerida. En la figura 11 se puede observar la prueba de fuga realizada en esta etapa.



Figura 11. Prueba de Fuga en un Proceso de Llenado

Este acondicionamiento consiste en la realización de varios ciclos de purga, en los cuales se presuriza con el gas a emplear y se hace vacío, con la finalidad de arrastrar las impurezas. Para los gases puros el número de purgas está determinado por la calidad que se desea obtener, mientras que para las mezclas se ha establecido 2 ciclos de purgas y generalmente se realiza con el gas balance de la mezcla.

Cuando se llena un gas puro, al terminar el último ciclo de purga de los cilindros se inicia directamente el trasegado de la materia prima hasta alcanzar 2355 psig. Mientras que para las mezclas, una vez completado el acondicionamiento se inicia el trasegado del primer componente, el cual puede ser o no el gas empleado en las purgas por lo tanto, el operador de planta debe participar para realizar el cambio del selector de gas a la línea correspondiente en caso de ser necesario. Una vez completada la presión de cada componente se requiere la participación del técnico de llenado para cambiar el selector de gas, y antes de realizar el trasegado de otro gas se realiza un acondicionamiento de las líneas.

### 3. Desmontaje

Finalizado el llenado de un gas puro o de una mezcla, el operador de planta deberá cerrar las válvulas de los cilindros y ventear el sistema para desacoplar de forma segura los flexibles de la araña. Posteriormente, el técnico procederá a trasladar un cilindro de cada paleta al laboratorio, para la certificación de calidad correspondiente. Este procedimiento se puede observar en la figura 12.



Figura 12. Desmontaje de un Proceso de Llenado

El procedimiento detallado que se debe seguir para el llenado de un gas puro y de una mezcla por el método de presiones parciales en los paneles 901, 931 y 941, se muestra en el Anexo B.

#### **Tiempos Asociados a las Etapas del Proceso de Llenado**

Una vez definidos los procedimientos de operación de cada uno de los paneles, los seguimientos fueron dirigidos a determinar los tiempos asociados a cada una de las etapas del proceso de llenado de gases puros y mezclas, realizados en los Paneles 901 y 931. Para esto, se desarrollaron unos formatos constituidos por tres tablas:

- En la primera tabla se reportaron los tiempos de vacío durante la purga de las líneas y los cilindros.
- En la segunda tabla se presentan los tiempos de venteo en la purga de las líneas y en la despresurización del remanente (en el caso de que los cilindros vengan de los clientes).
- En la última tabla se contemplan los tiempos de presurización durante la purga de las líneas y de los cilindros, así como el tiempo de llenado hasta la presión final.

En la Figura N° 13 se presenta una gráfica de la variación de la presión respecto al tiempo de un llenado de Argón Espectrometría realizado en el Panel 901, cuyo formato utilizado para la recolección de datos se encuentra en el Anexo C.

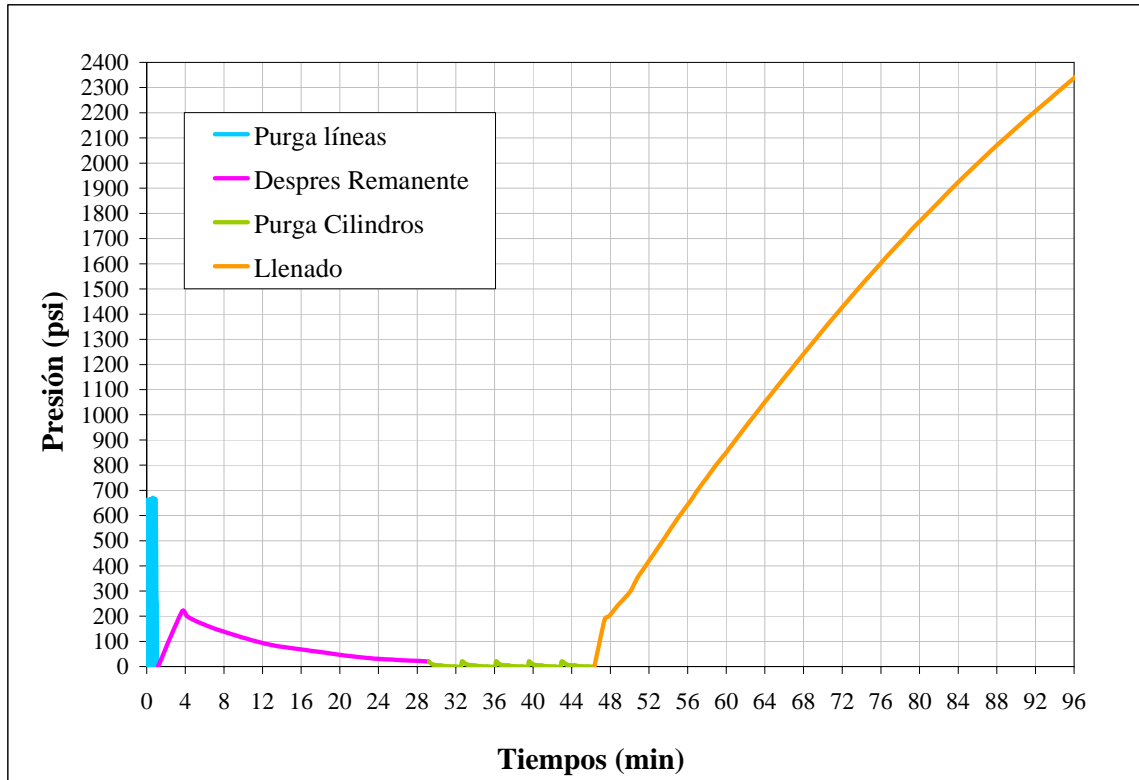


Figura 13. Llenado de Argón Espectrometría

En la Figura 13 se distinguen las 4 etapas del proceso de llenado: la primera es la purga de las líneas donde se repite un ciclo de presurización, venteo y vacío 4 veces, la segunda etapa muestra un incremento de la presión desde el momento en que el operador abre la válvula de los cilindros hasta que dicha presión se estabiliza para luego iniciar un venteo lo que constituye la despresurización del remanente. En la tercera etapa hay un proceso de 4 ciclos de presurización y vacío para la purga de los cilindros y por último la cuarta etapa la constituye el llenado hasta la presión final.

En el Anexo C, se puede observar de una manera más detallada los tiempos de cada ciclo de la purga de las líneas y los cilindros, la estabilización y despresurización del remanente, así como el inicio de la presurización para el llenado

### ***Diagnóstico de la Instrumentación***

A partir de los seguimientos del proceso productivo se pudo realizar una evaluación detallada de los instrumentos y equipos que conforman cada panel. Para lograr esto fue necesario desarrollar unos formatos donde se registró la siguiente información:

- Identificación de la instrumentación en planta,
- Función que desempeña dentro del proceso,
- Descripción, la cual implica características específicas que posee la instrumentación, así como el material y la presión máxima de trabajo, y
- Las observaciones y recomendaciones relacionadas con el buen funcionamiento, tomando en cuenta las consideraciones para el manejo de Gases Especiales.

En el Anexo D se pueden observar cuatro tablas una para cada panel, que son el resultado del diagnóstico de la instrumentación realizado. Es importante señalar que aunque el Panel 941 estaba fuera de servicio, ésta evaluación permitió identificar la instrumentación y equipos que requerían mantenimiento antes de su reactivación.

### ***Lista de Instrumentos***

De acuerdo las características de los procesos desarrollados en la planta y a la información obtenida del diagnóstico de la instrumentación, se generó un formato donde se listan los instrumentos y equipos con las especificaciones requeridas actualmente en cada panel. Este formato contempla los siguientes aspectos:

- Identificación de la instrumentación,
- Función que desempeña en el proceso,
- Descripción, la cual implica características específicas requeridas por la instrumentación,
- Presión máxima de operación de acuerdo a su función,
- Material, y

- El tamaño de la conexión que debe tener para su correcto acople con el sistema.

En el Anexo E se presentan cuatro tablas donde se encuentra la información antes mencionada, con la cual se pueden totalizar los instrumentos y equipos por panel:

- Panel 901: consta de 6 válvulas manuales, 8 válvulas neumáticas, 1 válvula check, 1 válvula de seguridad, 1 regulador de presión, 2 transmisores de presión, 1 bomba de vacío y 1 selector de gas.
- Panel 921: conformado por 4 válvulas manuales, 6 válvulas neumáticas, 3 válvulas de seguridad, 2 reguladores de presión, 1 transmisores de presión, 2 transmisores de temperatura, 1 bomba de vacío, 1 intercambiador de calor, 1 selector de gas y 1 ventilador.
- Panel 931: constituido por 9 válvulas manuales, 14 válvulas neumáticas, 1 válvula check, 2 válvula de seguridad, 1 regulador de presión, 2 transmisores de presión, 1 medidor y totalizador de flujo másico, 1 bomba de vacío y 1 selector de gas.
- Panel 941: compuesto por 9 válvulas manuales, 12 válvulas neumáticas, 1 válvula check, 1 válvula de seguridad, 1 regulador de presión, 2 transmisores de presión, 1 bomba de vacío y 1 selector de gas.

### ***Planteamiento de Mejoras***

A continuación se presentan las mejoras propuestas que no pudieron concretarse durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado. Estas mejoras son el resultado de la evaluación de las instalaciones de la planta y de los procesos desarrollados en los paneles de llenado y tratamiento de cilindros.

### **Mejoras generales**

En líneas generales estas propuestas constituyen mejoras para los páneces y la planta, con las cuales se busca aumentar el orden, la seguridad y la calidad. A continuación se presenta la justificación y/o beneficios asociados a cada una de ellas:

#### ✦ *Acondicionamiento de la línea de alimentación de oxígeno*

En la línea de oxígeno que alimenta a la Planta de Gases Especiales se presenta una sub-utilización de la instrumentación, ya que existen dos líneas que van a distintos páneces y cada una posee un transmisor de presión. Es por ello que se deberá habilitar una única línea de oxígeno hacia los páneces de llenado que lo requieran, lo que adicionalmente permitirá estandarizar la alimentación de materias primas a la planta.

Para esto, se requerirá realizar un diagrama de la distribución de tuberías a implementar, generar una lista de los materiales requeridos para luego a través del Departamento de Compras solicitar los materiales y el servicio de instalación. Este trabajo requiere el uso del equipo orbital de soldadura TIG y de la supervisión al momento de la instalación.

#### ✦ *Fijar las válvulas manuales de alimentación*

De acuerdo a las normas de seguridad de la planta toda la instrumentación de los páneces debe estar correctamente sujeta ya que se manejan altas presiones, especialmente en las líneas de alimentación donde la presión puede llegar a alcanzar 2600 psig.

Es por esto que será necesario contactar a un contratista para que fabrique las bases o soportes adecuados y realice la fijación de las válvulas manuales de alimentación, así como el chequeo de los soportes ya instalados para el resto de la instrumentación, con la finalidad de verificar si se requiere alguna reparación y/o mantenimiento en los mismos.

#### ✦ *Sustitución de la válvula manuales de alimentación*

Para llenado de Gases Especiales se debe disponer de instalaciones adecuadas con la finalidad de disminuir los riesgos de contaminación, por lo que estos componentes deben ser de acero inoxidable, ya que materiales como bronce presentan mayor porosidad que permite acumular impurezas en el sistema.



Teniendo presente esta premisa en el Formato de Diagnóstico de la Instrumentación queda el registro de las válvulas que no son del material adecuado, así como las que requieren mantenimiento o sustitución. Para la realización de esta mejora se deberá solicitar al Departamento de Compras las cotizaciones respectivas y por último supervisar los trabajos durante su instalación.

✦ *Disminuir el número de conectores*

Como se ha mencionado anteriormente en las instalaciones para el manejo de Gases Especiales se debe garantizar la pureza de la materia prima para ofrecer calidad en los productos. En tal sentido, se debe disminuir la presencia de conectores en las instalaciones de la planta, ya que los mismos constituyen posibles puntos de contaminación por difusión.

Frente a esta situación se plantea realizar una inspección de los tendidos de tuberías de la planta y de los sistemas que conforman los paneles, para determinar los puntos donde existen conectores y evaluar aquellos donde se puedan sustituir por tramos de tuberías soldadas, mediante el empleo del equipo orbital de soldadura TIG, con la finalidad de garantizar la hermeticidad de las instalaciones.

Una vez concretados los puntos donde se realizará esta mejora, se deberá cotizar los materiales correspondientes y el servicio para la realización de este trabajo, considerando que los contratistas deben tener conocimientos en el manejo del equipo orbital de soldadura TIG. La ejecución de este trabajo requerirá la respectiva supervisión para garantizar el estado de estas soldaduras.

✦ *Mejorar el tendido de tuberías de alimentación a los paneles*

Actualmente las tuberías que entran y salen de los sistemas de llenado y tratamiento de cilindros, están orientadas a lo largo de los paneles de acuerdo a la posición de la válvula correspondiente. Esta situación afecta la estética de los sistemas e incumple con la normativa interna de la planta que indica que toda la instrumentación que maneje alta presión debe estar correctamente sujeta.

En tal sentido, se plantea organizar las tuberías a lo ancho de la estructura de los páneces de manera de poder agruparlas y realizarles un soporte que permita darle seguridad y estética a esta parte de la instalación.

Esta mejora requerirá realizar un diagrama de cada panel de acuerdo al número de líneas que entran y salen del mismo, a fin de establecer la nueva distribución física de las tuberías y los puntos de ingreso de dichas líneas al panel, lo que posteriormente permitirá determinar el recorrido de las tuberías en el tope del panel y las sujeciones correspondientes.

A partir del diagrama planteado se podrá determinar la cantidad de tubería necesaria y los diámetros correspondientes a las líneas involucradas, información que servirá para solicitar al Departamento de Compras las cotizaciones de las tuberías así como los requerimientos del servicio de instalación, en el cual debe incluirse el empleo del equipo orbital de soldadura TIG. Por último se deberá supervisar la realización de estos trabajos de acuerdo a los diagramas desarrollados.

#### ✦ *Sustituir las válvulas solenoides de la planta*

Para las válvulas solenoides que se encuentran instaladas en la planta el mercado ya no ofrece los Kits de repuestos para la realización de los mantenimientos, que permitan garantizar la adecuada actuación de las válvulas neumáticas.

Es por esta razón que se propone evaluar, de las válvulas solenoides disponibles en el mercado, un nuevo modelo que cumpla con las especificaciones requeridas para la actuación de las válvulas neumáticas existentes en la planta, con disponibilidad de servicio técnico y repuestos que garanticen su mantenimiento y correcto funcionamiento. Una vez realizada esta evaluación se deberá contactar al Departamento de Compras para su adquisición y servicio de instalación, así como planificar y supervisar el trabajo requerido.

✦ *Asegurar el caudal de agua a las bombas de vacío de sello hidráulico*

Para garantizar el caudal a las bombas de vacío de sello hidráulico se deben implementar medidores de flujo en la línea de suministro de agua para garantizar el buen funcionamiento, evitar la operación forzada y aumentar la vida útil de estos equipos.

Es por esto que se deberá solicitar al Departamento de Compras cotizaciones de medidores de flujo de acuerdo a las especificaciones del caudal requerido por la bomba, la presión y temperatura del agua de servicio y el diámetro de la tubería donde será instalado. Una vez que se seleccione el medidor de flujo que cumpla con los requerimientos se deberá cotizar el servicio de instalación, para luego coordinar y supervisar la realización del trabajo.

✦ *Instalación de indicadores a distancia*

Por las características intrínsecas del tratamiento y llenado de cilindros desarrollado en la Planta de Gases Especiales, el operador continúa siendo indispensable al inicio y finalización de cada proceso a pesar de la automatización. Es por esta razón que las alarmas que se generan en el computador también deben llegar al área donde se encuentran los paneles para que, independientemente del lugar donde se encuentren los operadores, puedan atender el evento o problema.

Para cumplir con esto, se plantea implementar indicadores visuales en un área estratégica de la planta los cuales serán activados por el computador. Esta tarea implica solicitar las cotizaciones para la adquisición de dicho dispositivo y contratar el servicio de instalación, así como incluir en los Diagramas Lógicos de Flujo (DLF) y en la programación del controlador el lazo que permita completar esta acción.

### **Mejoras específicas**

Además de las mejoras generales en los trabajos desarrollados previamente<sup>[1], [2]</sup> fueron detectadas una serie de necesidades propias para los paneles 901 y 921, y durante el desarrollo de este Trabajo de Especial de Grado se identificaron requerimientos específicos para el Panel 931. A continuación se puntualizan todas las mejoras que deben

implementarse en dichos paneles, para cumplir con las necesidades y requerimientos identificados:

### ***Mejoras propuestas para el Panel 901***

#### **⊕ *Adecuar el Panel para el llenado de helio***

A pesar que el Panel 901 posee una línea de alimentación de helio, el mismo no se aprovecha para llenar este gas de alta pureza por 2 motivos:

1. El sistema posee una gran cantidad de conectores lo que pueden afectar la calidad del producto final por difusión, y
2. La línea de alimentación de He no se encuentra correctamente acondicionada, ya que sólo posee una válvula manual de bronce sin la sujeción correspondiente y además dicha línea no esta acoplada en la base del selector donde se encuentran el resto de las alimentaciones.

De estos puntos, el primero está contemplado en la propuesta “*disminución del número de conectores*” expuesta en el apartado “*mejoras generales*”. Mientras que para solventar el segundo, se deberá solicitar las cotizaciones respectivas para adquirir la instrumentación y materiales requeridos, así como el servicio de instalación el cual deberá considerar la fabricación de los soportes requeridos y de una nueva base para el selector con más puntos de alimentación, así como el uso de del equipo de soldadura orbital para realizar los acoples necesarios.

#### **⊕ *Incluir alimentación de oxígeno y dióxido de carbono***

Otra necesidad actual de la planta es agilizar el llenado de las mezclas Mapax y Aire Sintético, las cuales sólo se preparan en el Panel 931, por lo que se plantea adicionar dos nuevas líneas de alimentación al Panel 901, una para oxígeno y otra para dióxido de carbono. En tal sentido, en el acondicionamiento de la línea de O<sub>2</sub>, propuesto en el apartado “*mejoras generales*”, se deberá contemplar una bifurcación para alimentar este panel. Adicionalmente, se deberá evaluar el mejor punto de ramificación para tomar la alimentación requerida de dióxido de carbono.

Para implementar estas mejoras será necesario solicitar al Departamento de Compras las cotizaciones de la instrumentación y materiales requeridos de acuerdo a las especificaciones del sistema y los tendidos de las nuevas líneas de alimentación, así como todos los trabajos involucrados con el servicio de instalación. Al contar con los materiales y el personal calificado se deberá planificar y supervisar la ejecución del trabajo para que se realice dentro de los parámetros de seguridad y calidad en el menor tiempo posible.

### ***Mejoras propuestas para el Panel 921***

#### ***⊕ Implementar un control redundante para el vacío***

Actualmente el sistema de vacío de este panel posee una bomba de sello hidráulico y ha ocurrido que por fallas en la válvula solenoide de vacío durante cortes eléctricos, la baja presión del sistema produce el ingreso del agua de servicio a las líneas del panel y a los cilindros, lo que origina un retraso en el proceso y afecta el funcionamiento del transmisor de presión, disminuyendo su vida útil o sacándolo de servicio.

Es por esta razón que se debe implementar una válvula de respaldo en serie en la línea de vacío, para generar un control redundante que disminuya significativamente la posibilidad de que esta situación afecte la productividad de la planta. Para la realización de este trabajo se dispone de la válvula neumática a implementar, por lo que sólo se deberán cotizar los materiales y la mano de obra para completar la mejora.

#### ***⊕ Adecuar el transmisor de presión***

El transmisor de presión que posee el panel del horno no es del rango apropiado para la operación de este sistema, y al ser la presión la variable controlada en el proceso de tratamiento de cilindros se debe contar con un transmisor con las especificaciones requeridas por el proceso y en perfecto estado. Por otro lado la conexión existente entre el transmisor de presión y la línea no logra retener la humedad y las partículas sólidas que puedan estar presentes en el sistema, lo que afecta el buen funcionamiento de este dispositivo.

Por lo antes expuesto se debe sustituir el transmisor de presión existente por uno correspondiente con el rango de operación de este sistema y cambiar la conexión a una en forma de “S”, que permita la acumulación de la suciedad evitando que la misma llegue a este instrumento. En tal sentido se deberá cotizar los materiales, instrumentos y el servicio necesario para llevar a cabo esta mejora, bajo la adecuada planificación y seguimiento del trabajo a realizar.

✦ *Aumentar el número de cestas*

Después del proceso de tratamiento los cilindros se están calientes y como las válvulas no se pueden cerrar en esta condición porque se deterioran los asientos, se debe esperar a que se enfríen para poder desacoplar los cilindros de la cesta, hecho que representa un aumento en el tiempo de tratamiento. Como este período de tiempo no debe ser eliminado, se puede agilizar el proceso aumentando el número de cestas.

Para la realización de este trabajo será necesario cotizar la instrumentación requerida. Una vez que se disponga de los materiales, se deberá contactar a los contratistas para que fabriquen la estructura y la acondicionen según las especificaciones.

✦ *Incluir la realización de vacío en caliente*

Cuando finaliza el tratamiento el proceso de operación automático actual deja los cilindros presurizados. Sin embargo, tras el uso del panel se ha establecido la realización de un vacío cuando los cilindros aún están calientes mediante el modo de operación asistido, lo cual representa la ventaja de alcanzar presiones mucho más bajas cuando los cilindros se enfrían.

Partiendo de esta experiencia, se incluirá en el nuevo Diagrama Lógico de Flujo para este panel una opción que permita al operador seleccionar si desea o no realizar el vacío en caliente.

⊕ *Dar continuidad al proceso frente a fallas*

El tratamiento de cilindros desarrollado en el Panel 921, además de durar mucho tiempo, presenta la desventaja de que si el sistema se detiene por cualquier motivo se requiere reiniciar todo el proceso.

En tal sentido, se deberá incluir en el Diagrama Lógico de Flujo a implementar en este proceso, lazos que permitan reiniciar el tratamiento en el ciclo anterior no completado, medida que debe ir acompañada de la correspondiente detección y corrección de las fallas por parte del operador antes de reiniciar el proceso desde un punto intermedio, de forma que se garantice la calidad del tratamiento.

***Mejoras propuestas para el Panel 931***

⊕ *Adicionar una válvula neumática en la línea de oxígeno*

Como actualmente este panel de llenado es operado en modo asistido la no existencia de la válvula neumática en las líneas de alimentación de oxígeno no es una limitante para el desarrollo de este proceso, ya que el operador dirige cada una de las etapas abriendo y cerrando las válvulas neumáticas a través del display dactilar y en el caso particular de la alimentación de oxígeno manipula sólo la válvula manual. En miras de la futura automatización de este panel se deberá cotizar la válvula neumática correspondiente y el servicio de instalación con la debida sujeción.

⊕ *Reactivar el uso del medidor de flujo másico*

El Panel 931 cuenta con un medidor de flujo másico para la preparación de mezclas a nivel de ppm y porcentaje. Debido a que este medidor se encuentra fuera de servicio todos los productos con estas especificaciones son preparadas en la sala de gravimetría, con la limitante que se llena un cilindro a la vez.

Frente a esta situación se propone la reactivación del medidor de flujo másico para agilizar la elaboración de estos productos que en ocasiones son solicitados por lotes. Para esto será necesario solicitar a una empresa especializada la evaluación del estado

de este equipo y el servicio de mantenimiento correspondiente, el cual deberá incluir calibración, instalación y puesta en marcha del equipo.

✦ *Reactivar la línea multipunto*

Las mezclas preparadas en el Panel 931 están limitadas a los gases de los que dispone en sus líneas principales: N<sub>2</sub>, Ar, O<sub>2</sub> y He, debido a que la línea multipunto se encuentra fuera de servicio, la mezclas que requieran otros componentes son llenadas en la sala de gravimetría. Por lo antes expuesto, se plantea habilitar la línea multipunto, para poder diversificar y agilizar el llenado de ciertos lotes de mezclas en forma eficiente.

Para esto se requerirá realizar un mantenimiento a la línea multipunto mediante el soplado con nitrógeno, para eliminar cualquier suciedad acumulada y basados en el Formato de Diagnostico de la Instrumentación solicitar las cotizaciones respectivas para adquirir la instrumentación que permita mejorar esta parte de la instalación del panel, de acuerdo a los requerimientos para Gases Especiales.



## ***DISEÑO***

### ***Diagramas de Flujo de Proceso***

Durante el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado se actualizaron los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) de cada panel de la planta, obteniéndose 4 DFP con las condiciones actuales de estos sistemas, titulados: “Diagrama de Flujo de Proceso – Panel 901 Sin Considerar las Mejoras”, aplicado a cada panel. Estos documentos se ubican en el Anexo F.

Adicionalmente, se generaron 4 DFP de estos paneles donde se consideran las mejoras planteadas para los mismos. A continuación se cita un ejemplo del título asignado para estos diagramas: “Diagrama de Flujo de Proceso – Panel 901 Considerando las Mejoras Propuestas”. En el Anexo G se encuentran estos documentos desarrollados.

Las mejoras reflejadas en estos DFP son las siguientes:

- Panel 901: instalación de la válvula neumática de helio, inclusión de las líneas de alimentación de oxígeno y dióxido de carbono con su instrumentación correspondiente, adición del indicador de flujo de agua para bomba de vacío.
- Panel 921: instalación de la válvula de respaldo en la línea de vacío y el indicador de flujo de agua para la bomba de vacío.
- Panel 931: adición de la válvula neumática para oxígeno.
- Panel 941: instalación del indicador de flujo de agua para la bomba.

En estos diagramas se presenta la instrumentación y los equipos debidamente identificados, la cual está basada en una nomenclatura que asocia el instrumento al panel y/o a la línea de alimentación. En la figura 14 se presenta el esquema de identificación de la instrumentación utilizado en la planta.

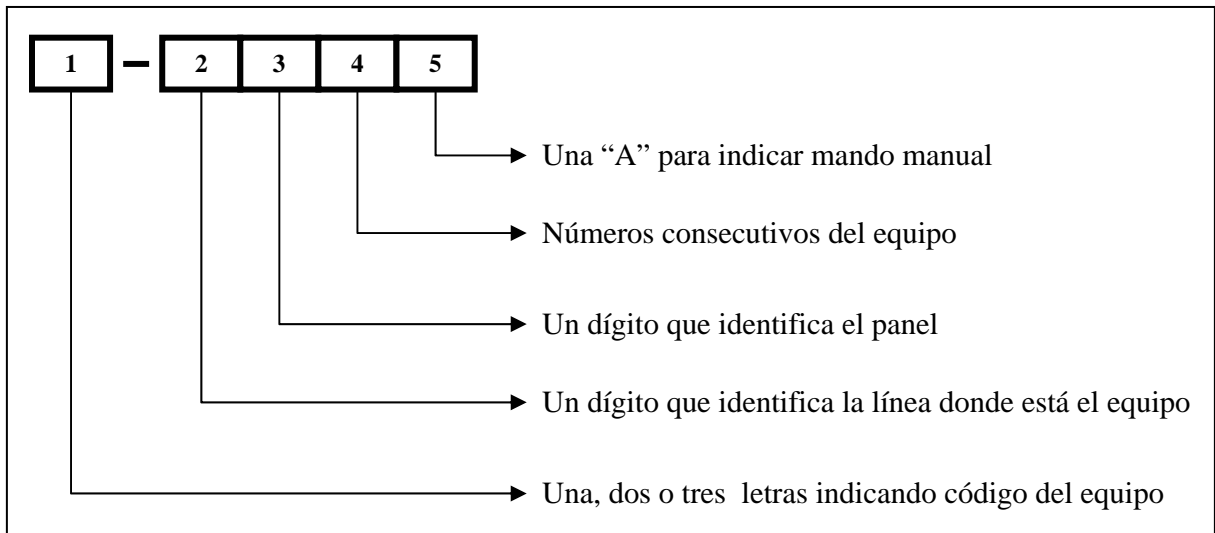


Figura 14. Esquema de Identificación de la Instrumentación

El esquema anterior emplea una codificación que se muestra en las Tablas N° 2, 3 y 4, las cuales se presentan a continuación:

Tabla N° 2. Código de Equipos

Código	Descripción
V	Válvula
SV	Válvula de seguridad o alivio
CV	Válvula antirretorno
PR	Regulador de presión
SG	Selector de Gas
VP	Bomba de vacío
CP	Bomba criogénica
PT	Transmisor de presión
TT	Transmisor de temperatura
FT	Medidor de flujo másico
FI	Indicador de flujo
S	Araña de panel de llenado
CE	Cesta del panel de tratamiento
CO	Colector de la cesta al panel
HE	Intercambiador de calor de aletas
FAN	Ventilador
R	Resistencias

Tabla N° 3. Código de Identificación de la Línea

Código	Descripción
1	Línea de Nitrógeno
2	Línea de Argón
3	Línea de Oxígeno
4	Línea de Dióxido de Carbono
5	Línea de Helio
7	Línea del Multi punto
9	Líneas del Panel

Tabla N° 4. Código de Identificación del Panel

Código	Descripción
0	Panel 901
2	Panel 921
3	Panel 931
4	Panel 941

### ***Diagramas de Tubería e Instrumentación***

Durante la ejecución de este proyecto de tesis se generaron los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) de cada panel de la planta con las condiciones actuales, obteniéndose 4 DTI que se presentan en el Anexo H y que se titularon “Diagrama de Tubería e Instrumentación –Sin considerar las Mejoras Propuestas”, incluyendo el nombre del panel involucrado.

Al igual que para los DFP, se generaron 4 DTI que consideran las mejoras planteadas para estos sistemas. Dichos diagramas se titulan como muestra el siguiente ejemplo: “Diagrama de Tubería e Instrumentación – Panel 901 Considerando las Mejoras Propuestas”. Estos documentos se encuentran en el Anexo I.

El sistema empleado para la identificación de las tuberías en los DTI está basado en el esquema presentado en la figura 15.

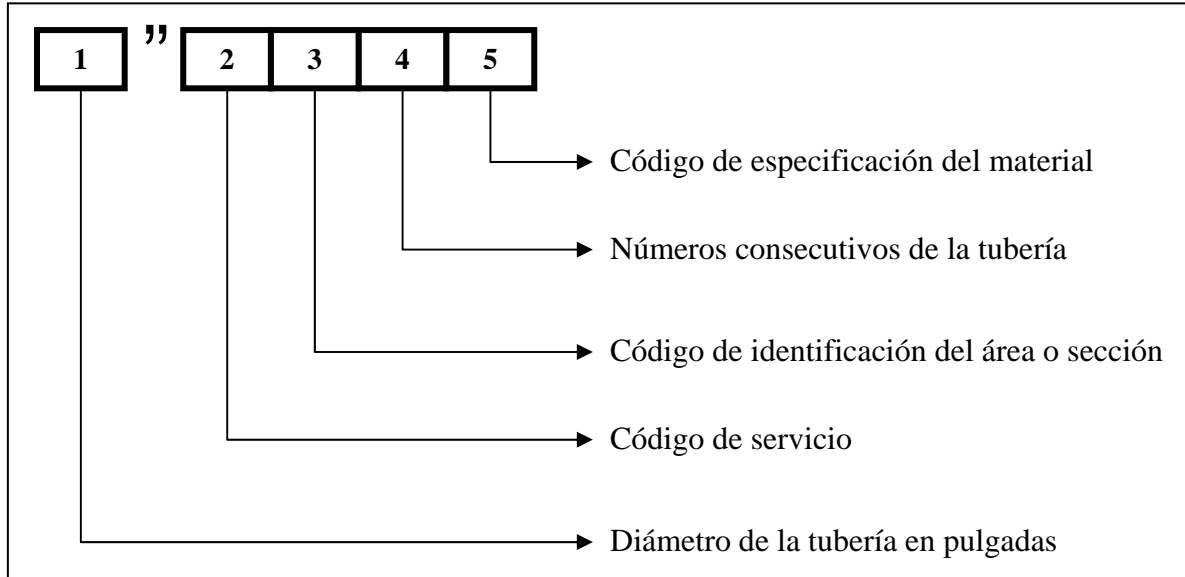


Figura 15. Esquema de Identificación de las Tuberías

La codificación correspondiente al esquema de identificación de tuberías se presenta en las Tablas N° 5, 6 y 7.

Tabla N° 5. Código de Servicio

Código	Descripción
P	Tubería de proceso
S	Tubería de servicio

Tabla N° 6. Código de Identificación del área o sección

Código	Descripción
901	Panel 901
921	Panel 921
931	Panel 931
941	Panel 941

Tabla N° 7. Código de Especificación del Materia

Código	Descripción
SS	Acero Inoxidable
CS	Acero al Carbono
PVC	Polivinilcloruro

### ***Mejora de los Formatos de las Órdenes de Servicio***

Este resultado se concretó al definir los procedimientos adecuados para el mantenimiento preventivo de cada panel, considerando las condiciones propias de los mismos. A continuación se puntualizan los requerimientos de dichas tareas:

1. **Limpieza y mantenimiento externo:** requiere el soplado con Nitrógeno de la parte exterior e interior del mismo y sus componentes, así como la limpieza de las zonas de fácil acceso con jabón, el retoque de la pintura y la revisión del estado de los soportes y el atornillado o sujeciones de la instrumentación del panel.
2. **Señalización:** se debe verificar la correcta señalización de los equipos, componentes y accesorios que conforman el panel, así como la concordancia de la identificación con el Diagrama de Flujo de Proceso.
3. **Fugas:**
  - ⊕ *Fugas Macro:* se ubican a través de la presurización de las líneas del panel con el gas determinado hasta la presión máxima del sistema y la aplicación snoop (solución jabonosa) en las conexiones y válvulas. Para verificar fuga en el vástago de cada válvula se debe dejar la misma abierta y se debe aplicar el snoop en su parte externa, mientras que para verificar fuga en el asiento se debe dejar la válvula cerrada y desconectar la tubería aguas abajo, aplicando en este caso el snoop en la conexión final desacoplada.
  - ⊕ *Fuga Micro:* se detectan mediante la presurización de las líneas del panel con Helio hasta la presión máxima del sistema y el uso de un equipo especial de

sensibilidad a este gas (Gas Leak Detector Gowmac Instrument CO), siguiendo el mismo procedimiento explicado en el punto anterior.

#### 4. Funcionamiento:

⊕ *Válvulas Neumáticas:* se comprueba su funcionamiento a través de la actuación (apertura y cierre) de cada una de ellas por acción de las válvulas solenoides. Adicionalmente se debe verificar el voltaje que reciben para su operación.

⊕ *Regulador de Presión:* esta tarea requiere realizar en primer lugar la verificación y calibración de el o los manómetros. Luego se debe verificar el funcionamiento interno del regulador a través de un banco de prueba con un manómetro patrón, que permita comprobar que la presión a la salida de este dispositivo sea la establecida en el mismo.

⊕ *Válvulas de Seguridad:* para esto se debe verificar y ajustar en caso de ser necesario la presión de disparo mediante un banco de prueba con un manómetro certificado.

⊕ *Bomba de Vacío:* en primer lugar se debe revisar lo siguiente: el nivel o caudal del líquido de servicio, el aterramiento del motor y las conexiones eléctricas. Luego corresponde revisar la presión mínima que se alcanza en el sistema, empleando para tal fin un banco de prueba con un manómetro de vacío debidamente certificado que se acople a las líneas del panel. Durante el desarrollo de esta prueba se debe constatar que no existan ruidos inusuales o fugas del fluido de servicio por la carcasa, tuberías y accesorios. Por último es necesario verificar el grado de continuidad de la bobina y el amperaje de operación.

En estas Órdenes de Servicio se disponen de listas de chequeo específicas para cada panel, lo que permite llevar un registro a cabalidad de los resultados de las evaluaciones desarrolladas con las instrucciones anteriores. El alcance de la orden de servicio son las reparaciones que puedan ser ejecutadas por el contratista designado y la sustitución de la instrumentación que este disponible en la planta. Sin embargo, cuando no se cuente con los medios o los materiales necesarios sólo se generará el registro de la falla detectada, por lo que estas fallas quedan pendientes y deben ser solventadas lo antes posible.

En tal sentido, estos formatos constituirán un registro para que cuando se disponga de los materiales, instrumentos y el personal especializado se realicen los acondicionamientos y/o sustituciones requeridas.

En el Anexo J se encuentra el modelo de las tareas comprendidas en los viejos formatos de las órdenes de servicio y en el Anexo K se encuentra el modelo generado para las tareas que deben realizarse en la orden de servicio específica para el Panel 941. De los viejos formatos, se conservó la parte correspondiente a la identificación de los paneles ya que comprende una serie de datos necesarios para la trazabilidad de los acondicionamientos realizados en los mismos.

Es importante señalar que los nuevos formatos se desarrollaron considerando las mejoras planteadas contempladas en el apartado “Propuestas de Mejoras”, por lo que se incluyó instrumentación que aún no ha sido instalada en los paneles, apareciendo por ahora en los espacios designados para la evaluación de estos instrumentos el termino N/A (No Aplica). Esto tiene como finalidad obtener un formato general que no presente grandes modificaciones en el momento que se implementen las mejoras planteadas.

### ***Diagrama Lógico de Flujo***

En este Trabajo Especial de Grado se generó el Diagrama Lógico de Flujo (DLF) para la operación automática del Panel de llenado 941, el cual se presenta en el Anexo L. A continuación se presenta la información necesaria para comprender el diagrama desarrollado.

### **Simbología**

Para el desarrollo del DLF fue necesario establecer una simbología para el manejo de la información y para indicar las acciones del proceso. Dicha simbología se presenta en la figura 16.

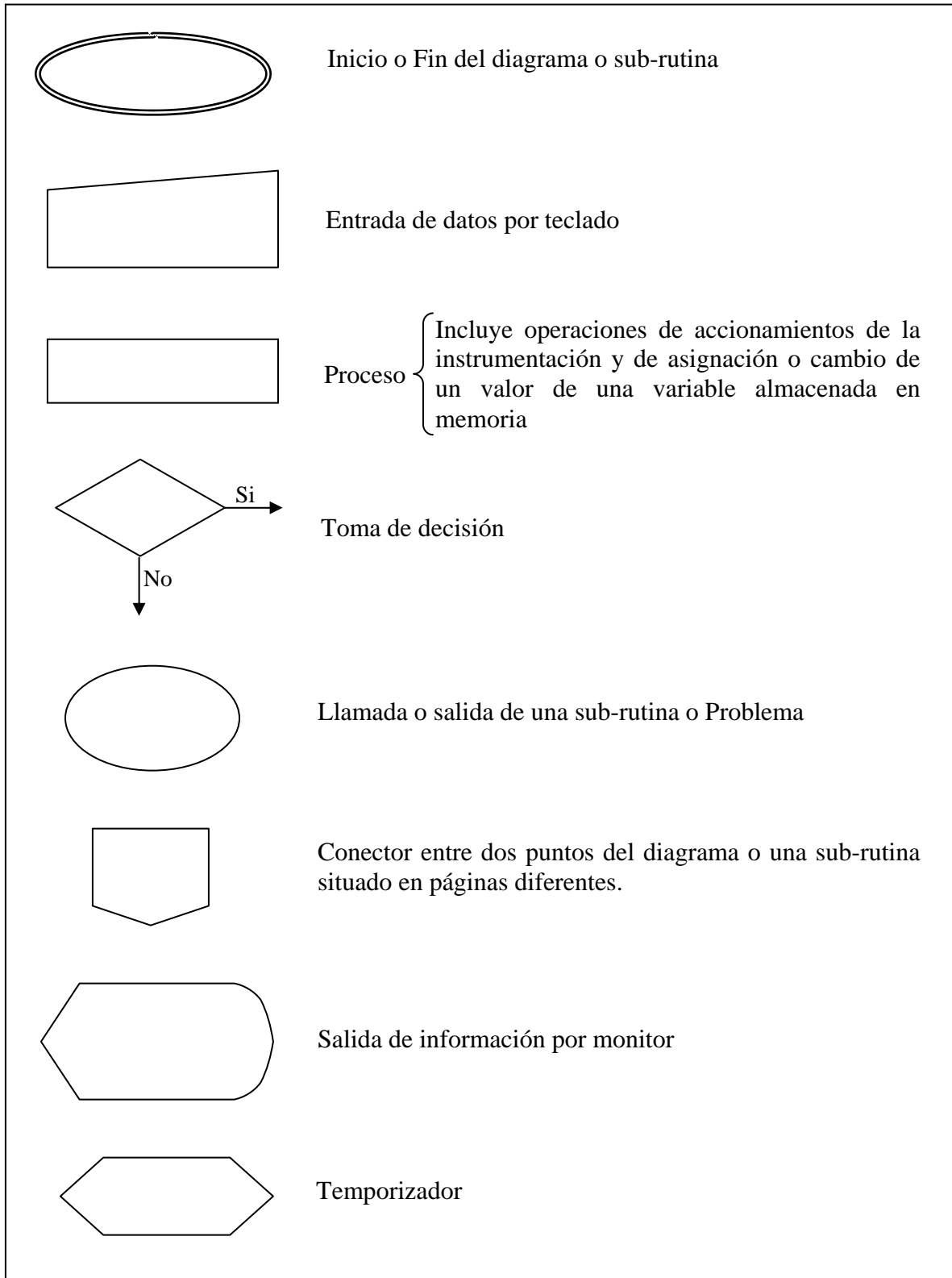


Figura 16. Simbología empleada en los DLF



## Estructura

Este diagrama comprende la secuencia de pasos y ciclos requeridos para el llenado de los gases puros: Nitrógeno y Argón; y las mezclas: Mapax y Agamix. Básicamente este DLF está constituido por un cuerpo principal llamado “INICIO”, en el cual se recibe la información por teclado sobre el producto a llenar. De acuerdo a esta selección se hace el llamado a las sub-rutinas principales “Gas Puro” o “Mezclas”, cada una de las cuales requiere ejecutar convenientemente las siguientes sub-rutinas secundarias:

- Rev. P Línea: comprende las instrucciones que permite garantizar las condiciones antes de iniciar el proceso, ya que verifica la presión de los pulmones de N<sub>2</sub> y Ar o la presión del banco de CO<sub>2</sub>.
- Fuga / Purga: establece los pasos para realizar la prueba de fuga requerida por el proceso, así como y las purgas de las líneas y cilindros para acondicionar el sistema. Es importante señalar que esta sub-rutina cita a otras sub-rutinas las cuales se alistan a continuación:
  - Fuga: indica la secuencia de pasos que se ejecutan en caso de detectar una fuga en el sistema, lo que queda registrada en un reporte. Esta sub-rutina requiere de la participación del técnico de planta para eliminar el punto de fuga y poder continuar o no con el proceso, por lo tanto se considera como un evento. Es importante señalar, que de no resolver el problema se ejecutaran los pasos necesarios para ir a una parada de proceso.
  - Venteo: esta sub-rutina se cita de acuerdo a la presión que se desee alcanzar en sistema teniendo dos recorridos, uno que permite alcanzar presión atmosférica y otro para alcanzar la presión requerida por la bomba para iniciar el vacío.
  - Vacío: establece los pasos para efectuar el vacío requerido por el proceso. Es importante señalar que esta sub-rutina también presenta dos recorridos: uno que permite realizar el vacío de las líneas y el otro para el vacío de los cilindros. La diferencia en estos recorridos radica en el tiempo en el que se

alcanza la presión requerida, ya que hay una diferencia de volumen, por lo que en las líneas se alcanza el vacío más rápidamente que en los cilindros.

- Despresurización: comprende las instrucciones para realizar la despresurización del remanente en caso que los cilindros vengan de los clientes.
- Llenado: esta sub-rutina contiene la secuencia de pasos establecidos para realizar el llenado de los cilindros hasta una presión parcial o final, según sea el caso. Cuando se equilibran las presiones entre el panel y el sistema de suministro (pulmones o banco), se requiere ejecutar los pasos establecidos en la siguiente sub-rutina:
  - P insuf: indica al operador cambiar de banco de suministro de CO<sub>2</sub> o encender la bomba criogénica de N<sub>2</sub>, ó Ar, según sea el caso, para continuar con el proceso. Una vez que el operador indique que ejecutó la acción correspondiente, esta sub-rutina verifica el incremento de la presión para poder continuar y de resultar insatisfactoria esta verificación se ejecutarán los pasos necesarios para ir a una parada del proceso.

La sub-rutina “Mezcla” cita a unas sub-rutinas de acuerdo a la mezcla a llenar, que le cargar los datos requeridos para la elaboración de la misma. Estas sub-rutinas son: Agamix 22, Mapax 0030, Mapax 0050 y Mapax 0080.

La sub-rutina “Fuga/Purga” y sus subordinadas así como la de “Llenado” citan a otras sub-rutinas consideradas como “problemas” en caso de no poder realizar el venteo, alcanzar el vacío o presurizar el sistema. Estas sub-rutinas serán explicadas con detalle más adelante en el apartado *problemas*.

Al completarse la sub-rutina “Gas Puro” o “Mezcla” de acuerdo al producto a llenar, se regresa al cuerpo principal “INICIO”, donde previamente se ejecutan las acciones pertinentes para que se inicie el desmontaje en forma segura, ya que se requiere la participación del operador para cerrar la válvula de los cilindros y desacoplarlos del sistema.

Es importante señalar que parte de las instrucciones comprendidas en el cuerpo “INICIO” permiten completar los pasos para detener el proceso al incurrir en alguno de los “problemas” evaluados y se enlazan en este cuerpo a partir del link “Parada”

Para facilitar y comprender el recorrido del DLF fue necesario realizar la siguiente organización:

A. Asignar un número a cada Sub-rutina en la parte superior derecha, quedando enumeradas de la siguiente manera:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 1. INICIO  | 7. Fuga              |
| 2. Gas Puro  | 8. Venteo            |
| 3. Mezcla  | 9. Vacío             |
| 4. Agamix 22, Mapax 0030,<br>Mapax 0050 y Mapax 0080 | 10. Despresurización |
| 5. Rev P línea                                       | 11. Llenado          |
| 6. Fuga / Purga                                      | 12. P Insuf          |

B. Identificar los problemas para los cuales se empleó la siguiente terminología:

P-1: Problema Pres Línea Panel

P-2: Problema Venteo

P-3: Problema Vacío 1

P-4: Problema Vacío 2

C. Cada sub-rutina comienza con “In” y termina en “Out”

D. Para citar una sub-rutina se emplea el símbolo establecido en el apartado simbología, se indica su nombre y el número o identificación correspondiente para facilitar su ubicación, como se muestra en la Figura 17.

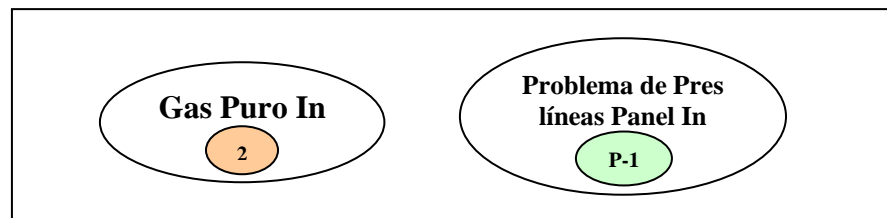


Figura 17. Llamado de las sub-rutinas

### Análisis de Tiempo

Para desarrollar estas sub-rutinas fue necesario analizar los seguimientos de los llenados realizados en la etapa de Especificación, para estimar los tiempos considerados como críticos en las etapas de vacío, venteo y presurización del sistema durante el proceso. A continuación se presenta en la Tabla N°8 el resultado de este análisis que permitió concretar el DLF.

Tabla N° 1. Análisis de Tiempos de las Etapas de Llenado

Variable	Acción	Volumen	Etapas	Presión de referencia	Tiempo Crítico
t <sub>1</sub>	Presurización	Líneas Panel	Para prueba de fuga	1100 psig	10 s
t <sub>2</sub>	Espera	Líneas Panel	Prueba de fuga	Disminución de 1 psi	30 s
t <sub>3</sub>	Venteo	Líneas Panel	Luego de prueba de fuga y ciclos de purga	4 psig (≈19 psia)	6 s
t <sub>4</sub>	Venteo	Líneas Panel	Luego de llenado y parada	1 psig (≈15 psia)	15 s
t <sub>5</sub>	Vacío	Líneas Panel	Ciclo 0 y ciclos de purga	2 psia	9 s
t <sub>6</sub>	Vacío	Líneas Panel	Verificación del vacío	2 psia	5 s
t <sub>7</sub>	Vacío	Líneas Panel y Cilindros	Estabilización de vacío	N/A	5 s
t <sub>8</sub>	Espera	Cilindros	Luego de apertura válv. Cilindros para despresurizar	N/A	120 s
t <sub>9</sub>	Venteo	Cilindros	Despresurización del remanente	Disminución de 2 psi	84 s
t <sub>10</sub>	Vacío	Cilindros	Ciclo 0 y ciclos de purga	2 psia	300 s
t <sub>11</sub>	Vacío	Cilindros	Verificación del vacío	2 psia	120 s
t <sub>12</sub>	Presurización	Cilindros	Ciclos de purga	2 psig (≈17 psia)	14 s
t <sub>13</sub>	Presurización	Cilindros	Llenado	Aumento de 20 psi	60 s
t <sub>14</sub>	Presurización	Cilindros	Durante llenado para evidenciar estabilización de P	Aumento de P	60 s
t <sub>15</sub>	Espera	Líneas Alimentación	Luego de encender bomba criogénica	Aumento de P	120 s

En la Tabla N°8 se enumeran las variables de tiempo necesarias, desde el 1 hasta el 15, y se clasifican de acuerdo al volumen involucrado y a la etapa ejecutada. En algunos casos también se indica la presión establecida como referencia.

**Problemas**

Para validar o evitar ciclos cerrados en este diagrama, fue necesario evaluar las posibles situaciones consideradas como problemas, que pudieran interrumpir alguna etapa del llenado. Dichos problemas fueron identificados de la siguiente manera:

- Problema Pres Línea Panel: el cual se presenta cuando la presión en el sistema no se incrementa de acuerdo al tiempo establecido.
- Problema Venteo: alerta en caso de que la presión durante un venteo no disminuya en el tiempo estipulado.
- Problema de Vacío 1: indica que no se ha alcanzado presión de vacío en el sistema.
- Problema de Vacío 2: informa que no se ha alcanzado el valor vacío establecido para el proceso.

La determinación de los tiempos críticos de cada etapa del proceso de llenado fue de gran importancia para poder evidenciar los problemas, ya que se estableció que al no alcanzar una presión requerida por el proceso en el tiempo crítico, se ejecuta la secuencia de acciones asociadas al problema correspondiente.

Estos problemas fueron estudiados para determinar sus posibles causas y por lo tanto al presentarse se generan informes a los técnicos de planta, lo que permite crear un registro de las fallas presentadas durante la operación del panel. Es importante señalar que dependiendo de la etapa del proceso en el que aparece un problema se contempla la ejecución de ciertos pasos automáticos y/o manuales donde participa el técnico de llenado para ir a una parada del proceso en forma segura.

## ***Protocolos de Prueba***

Los protocolos de pruebas son formatos donde se listan la secuencia de pasos que se debe seguir para completar el proceso. En estos formatos la enumeración principal representa la columna vertebral del proceso, es decir, las acciones principales, mientras que las subordinaciones son acciones que se toman según las condiciones que se presenten. De igual forma, al representar el acondicionamiento de los cilindros se consideró como acción principal la etapa de purga y como subordinaciones de este punto los diferentes ciclos que se deben realizar.

Para facilitar el manejo de la información, se generó un formato de operación principal donde se plantean los pasos a seguir en condiciones normales, y se desarrollaron formatos a parte para mostrar las acciones que deben tomarse en caso que se produzca un evento o un problema.

Los formatos desarrollados para estos protocolos de pruebas presentan la ventaja de servir para el llenado de gases puros de diferente calidad, ya que en los mismos se presenta el número máximo de ciclos de purga existentes, pudiéndose o no llenar el apartado de acuerdo a la pureza del gas que se esta llenando. Adicionalmente, el mismo protocolo puede ser utilizado para realizar el seguimiento de un proceso en el cual se emplee una o las dos arañas, ya que las acciones que involucran esta condición se presentan como optativas, llenándose sólo el items involucrado.

Es importante señalar que se generó un modelo de protocolo de pruebas para cada gas puro y para cada una de las mezclas, lo que permitió desarrollar formatos específicos con las correspondientes condiciones y válvulas asociadas.

En el Anexo M se presentan un modelo del Protocolo de Pruebas desarrollado para un Gas Puro, específicamente el que debe seguirse para el llenado de Nitrógeno puro, el cual incluye 7 formatos titulados de la siguiente manera:

- Formato de Operación Principal,

- Formato Problema Pres Líneas Panel / Purga,
- Formato Fuga,
- Formato Problema Venteo,
- Formato Problema Vacío 1,
- Formato Problema Vacío 2,
- Formato Problema Pres Líneas Panel / Llenado N<sub>2</sub>,

Mientras que en el Anexo N se muestra el modelo del Protocolo de Pruebas para el seguimiento de una mezcla Mapax 0030, en el cual se incluyen además de los formatos mencionados anteriormente, dos formato asociados al CO<sub>2</sub> titulados: Formato Problema Pres Líneas Panel / Llenado CO<sub>2</sub> y Formato Estabilización de Presiones CO<sub>2</sub>.

### ***Tecnología Empleada***

#### **Controlador Lógico Programable**

El personal de Proyectos de Automatización propuso la instalación del un PLC modular marca OMRON el cual está constituido principalmente por:

- CPU,
- Fuente de alimentación, y
- Módulos de Entrada/ Salida Analógicos/ Digitales.

De acuerdo al número de señales necesarias para dirigir la operación de los paneles en forma automática se determinó la cantidad de módulos analógicos y digitales, y en base a esto se procedió a definir las especificaciones del resto de los componentes del PLC, las cuales se presentan a continuación:

#### ***Señales Analógicas***

Se definieron 15 señales de *entradas analógicas*, de las cuales 12 están asociadas a los transmisores de presión de los paneles y las líneas de alimentación principal, 2 para los

transmisores de temperatura del horno del Panel 921 y la última corresponde al medidor de flujo másico del Panel 931.

En el apartado O-1 del Anexo O, se muestra las señales analógicas requeridas con los nombres asignados de acuerdo a la identificación empleada en la planta.

### ***Señales Digitales***

Con respecto a las señales *digitales* se determinó un total de 55 *salidas* referidas al accionamiento de las válvulas solenoides, el encendido/apagado de las bombas de vacío, el apagado de las bombas criogénicas, el accionamiento de las resistencias y del ventilador del horno. Es importante indicar que como este proyecto está pensado para futuras expansiones de los paneles de acuerdo a las necesidades del mercado, se decidió asignar un módulo para cada panel de manera de poder tener un orden en las señales en el momento de implementar nueva instrumentación.

El apartado O-2 Y O-3 presenta las señales de salida digital necesarias para cada uno de los Paneles, de acuerdo a su identificación en la planta con la particularidad que posee una “S” antes para indicar que son señales de salida del PLC.

Por otro lado se definieron 58 señales de *entradas* asociadas a la verificación del accionamiento de las válvulas solenoides, el encendido/apagado de las bombas de vacío, el encendido de las bombas criogénicas y la verificación del flujo de agua para las bombas de sello hidráulico. La identificación y descripción de cada una de las señales de entrada digitales se presenta en el apartado O-4 Y O-5 del mismo anexo.

### **Especificaciones del PLC**

Una vez concretado todo el análisis de los requerimientos para el control de los paneles, se determinaron las especificaciones del PLC a emplear en el proyecto de la siguiente manera:

- CPU con 640 puntos de entradas/salidas.
- Fuente de alimentación de 100 a 240 VAC.
- 2 Módulos de entradas analógicas de 8 canales cada uno. Configurables de 4 a 20mA.



- 4 Módulos de salidas digitales de 16 canales cada uno de 2 A.
- 4 Módulos de entradas digitales de 16 canales cada uno de 24VDC.

**Sistema SCADA**

De acuerdo a la experiencia del personal de Proyectos de Automatización en el control de procesos a distancia con el Software i-FIX, se decidió comprar la licencia de este SCADA para la supervisión del proceso desarrollado en la Planta de Gases Especiales.

El i-FIX adquirido es versión 3.0 y posee diversos componentes de alto desempeño bajo programación Visual Basic. Para el manejo de este software se requiere tener instalada la llave de acceso en la computadora de control, de lo contrario sólo se podrá ejecutar la dirección y monitoreo del proceso por un lapso de 2 horas.

## ***IMPLANTACIÓN***

### ***Acondicionamientos Realizados***

Los resultados obtenidos de las evaluaciones y mantenimientos realizados en el acondicionamiento de la planta se presentan a continuación:

#### **Mantenimiento preventivo de los sistemas**

A partir de las órdenes de servicio mejoradas se desarrolló el mantenimiento preventivo de los paneles 901, 921 y 931, siendo la empresa *ManTERS Dynamics* la que desarrolló el trabajo para el panel 901, mientras que el mantenimiento de los otros dos paneles estuvo a cargo de la contratista *Instalaciones y Montajes Álvarez*. Es importante señalar que este mantenimiento no fue realizado para el Panel 941 debido a que el mismo se encontraba en período de reactivación.

En líneas generales, luego de la realización del mantenimiento se identificó la necesidad de sustituir varios de los asientos de las válvulas neumáticas instaladas en planta, por lo que se sugirió adquirir los kits de repuestos correspondientes y algunas válvulas de reemplazo. Adicionalmente, se planteó la realización de un mantenimiento a fondo de las bombas de vacío, donde se desmontaran y se verificara el funcionamiento de las mismas. Sin embargo, los formatos con la información detallada asociada a cada panel quedan como registro en la planta.

Con la realización de este mantenimiento bajo las instrucciones contenidas en el formato mejorado, se pudo evidenciar un aumento en la eficiencia del trabajo, así como la generación de un registro acorde con las actividades realizadas, el cual incluye el registro de las sugerencias planteadas por el contratista encargado.

**Mantenimiento de las bombas de vacío de sello hidráulico**

Este trabajo se planteó tras la realización del mantenimiento preventivo de los paneles, y fue concretado por la empresa *Manters Dynamics*, representada en el Sr. José Sánchez, quien realizó el mantenimiento preventivo y correctivo de las cuatro bombas de vacío disponibles en planta.

A cada una de estas unidades se les realizó el siguiente trabajo:

- Inspección visual y limpieza interna,
- Medición de las tolerancias máximas admisibles en las dimensiones de la estructura interna del equipo,
- Reemplazo de las empacaduras,
- Limpieza de los floppers y conductos de agua internos,

Así como los siguientes chequeos del motor eléctrico:

- Limpieza interna,
- Medición de continuidad y aislamiento,
- Revisión de los rodamientos, limpieza y engrase.

De este trabajo se generó un informe por parte del contratista donde queda el registro de las observaciones y cambios realizados. En líneas generales se observó desgaste de las empacaduras de todos los equipos lo que llevó a realizar el reemplazo correspondiente, se evidenciaron puntos de corrosión en la carcasa interna en tres de las cuatro bombas, y en uno de los sistemas se realizó el reemplazo del rodamiento del motor.

Tal como se mencionó en la metodología, este trabajo fue realizado por etapas, iniciándose con las bombas del Panel 941 y la bomba de respaldo. Una vez completado el mantenimiento de estos dos equipos, se retornó la bomba correspondiente al panel 941 y se procedió a rotar la bomba de reserva para poder desacoplar las bombas de los paneles operativos. En tal sentido, el trabajo continuó con el reemplazo del equipo que se encontraba instalado en el Panel 921 y una vez verificado éste, se realizó el cambio por la bomba del 901, finalizando así el mantenimiento de las cuatro unidades.

Una vez realizado el cambio de la bomba de vacío del Panel 921, se empleó un banco de prueba con un manómetro de vacío en buen estado, el cual se acopló a las líneas del panel y que permitió evidenciar el vacío mínimo alcanzado en el sistema, el cual se encuentra cercano a los 2 psia, valor que se ajusta a los requerimientos del proceso.

### **Mantenimiento de la línea de Venteo**

Este mantenimiento fue realizado por el Sr. Francisco Álvarez representante de la empresa *Instalaciones y Montajes Álvarez*, quien desarrolló el trabajo en tres etapas: desmontaje del silenciador, cambio del sello mecánico y montaje.

De este trabajo se pudo evidenciar que los silenciadores poseían el sello mecánico desgastado, por lo que este dispositivo no estaba cumpliendo completamente con su función.

Durante la realización del trabajo se aprovechó para comparar los niveles de ruido que se producían al ventear el sistema sin el silenciador y con el silenciador acoplado correctamente. Como resultado se obtuvo que desde el área normal de trabajo, los niveles bajaron de 91 dB a 85.5 dB, es decir, se logró disminuir la intensidad de ruido en un 6 % al acoplar el silenciador con el sello mecánico.

Este mantenimiento origina que los niveles de ruido permanezcan cerca del nivel de intensidad máximo permitido en ambientes industriales, el cual es 85 dB. Adicionalmente, se presenta el hecho que el proceso de venteo no es continuo sino intermitente con diferencias de tiempo grandes, por lo que no es imprescindible que para las operaciones los técnicos de planta usen la protección personal correspondiente.

### **Mantenimiento de las válvulas solenoides**

Esta tarea se orientó en primer lugar a verificar el estado de las válvulas solenoides originales del Panel 941, por estar éste fuera de servicio, a fin de realizar las reparaciones necesarias y poder disponer de dichas válvulas como recambio para los paneles operativos.

De este modo, el Sr. José Sánchez representante de la empresa *ManTERS Dynamics*, realizó una evaluación de las 12 válvulas solenoides dispuestas en el Panel 941, lo que permitió identificar los siguientes aspectos:

- 2 de los cuerpos de las válvulas presentan el espigo del piloto dañado, los cuales pueden ser reparados. El resto de los cuerpos de las válvulas se encuentra en buen estado.
- 9 de las bobinas se encuentran rotas o quemadas por exceso de temperatura y 1 fue desarmada.
- Las 12 bases para los cuerpos mecánicos presentaban fuga.

Tras esta evaluación se evidenció que el mercado existente ya no ofrece repuestos para este tipo de válvulas, por lo que se realizaron las reparaciones y se fabricaron las piezas requeridas a fin de realizar el mantenimiento estipulado y dejar operativas aquellas que fuesen posibles. Como registro para la planta queda el informe desarrollado por el contratista, donde se muestra de una manera más detallada los cambios y ajustes realizados.

#### **Verificación del ajuste y calibración de los transmisores de presión**

Este acondicionamiento requirió contactar un ente externo certificado por SENCAMER, siendo la empresa seleccionada *Proyectos Alessi* a cargo del Sr. Rolando Alessi, quienes debieron realizar el trabajo por etapas para no afectar la productividad de la planta.

Para iniciar este trabajo se buscaron transmisores de presión que se encontraban fuera de servicio y se desacoplaron aquellos equipos que no fuesen indispensables para los procesos, lográndose reunir 8 transmisores de diferentes tipos, los cuales se especifican a continuación:

- Tres transmisores de presión relativos a prueba de explosión, marca OMEGA con rango de operación de 0-3000 psig, de los cuales: uno corresponde a la línea multipunto del Panel 931 que se encuentra fuera de servicio y los otros dos se encontraban disponibles en planta.
- Un transmisor de presión relativo marca OMEGA con rango de operación de 0-3000 psig que se encontraba fuera de servicio.

- Tres transmisores de presión absolutos de 0-100 psig, marca OMEGA donde uno fue tomado de la línea de vacío del Panel 901 y los otros se encontraban fuera de servicio.
- Un transmisor de presión relativo marca SETRA de rango de operación de 0-500 psig que se encontraba disponible en planta.

De este modo una vez completado el trabajo, se debían colocar los transmisores calibrados en los puntos operativos para continuar con el servicio. Sin embargo, frente a problemas con los laboratorios de la empresa contratada, dicho servicio se ha visto afectado obteniéndose, hasta el momento de culminar esta tesis, el siguiente reporte:

- Los tres transmisores de presión relativos de 0-3000 psig a prueba de explosión marca OMEGA se encuentran en buen estado y fueron calibrados.
- El transmisor marca SETRA de 0-500 psig se encuentra dañado, y
- Los transmisores de presión absolutos no se han podido verificar ni calibrar por falta de los patrones correspondientes.

Debido al retraso presentado, este acondicionamiento no pudo ser concretado durante el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado, por lo que a continuación se presentan los pasos que se deben seguir una vez que se complete la calibración de los equipos ya entregados. Es importante señalar que los pasos establecidos consideran que el resto de los transmisores que están en revisión se encuentran en buen estado.

1. Cambiar los transmisores de las líneas de alimentación de Nitrógeno y Argón por dos de los equipos calibrados que sean a prueba de explosión y de rango de operación de 0-3000 psig.
2. Sustituir el transmisor de presión de la línea principal de Panel 931 por otro de los transmisores relativos de 0-3000 psig que sean a prueba de explosión.
3. Suplantar el transmisor de presión relativo de 0-3000 psig de la línea principal del Panel 901, por un dispositivo calibrado que posea las mismas especificaciones.
4. Desacoplar el transductor de la línea de vacío del Panel 931 y acoplar en su lugar un equipo calibrado de rango absoluto de 0-100 psia.

5. Sustituir el transmisor de presión del Panel 921 por uno de los equipos calibrados de 0-100 psia.

Posterior a la realización de este primer cambio, se dispondrían de 6 transmisores más para continuar con el servicio, los cuales una vez calibrados, deben ser acoplados en los puntos faltantes de la planta.

### ***Mejoras Concretadas***

#### **Instalación de un sistema de suministro de CO<sub>2</sub>**

El sistema de suministro de CO<sub>2</sub> se encuentra ubicado en el patio delantero de la Planta de Gases Especiales, específicamente en lado derecho del área de los pulmones. Dicha instalación está constituida por 2 bancos de CO<sub>2</sub> y un panel central, tal como se puede apreciar en la figura 18.

Los bancos son la fuente de materia prima y cada uno está formado por una paleta de 12 cilindros de igual capacidad, los cuales están conectados entre sí a través de tramos de tubería que se comunican con una válvula de suministro principal.



Figura 18. Vista Frontal del Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>

Para completar la conexión de los bancos con el sistema se disponen de dos tramos de tubería flexible, una para cada banco, los cuales van acoplados a la válvula principal. En la figura 19 se observa una vista lateral de la instalación, donde se evidencia la distribución de los bancos, la ubicación del sistema en el área de pulmones y la conexión de los flexibles a los bancos.

Figura 19. Vista lateral del Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>

El panel se encuentra en frente de los bancos y está constituido por un 4 válvulas de paso rápido, dos de alimentación y dos de venteo, las cuales permiten seleccionar el banco que se va a emplear. En tal sentido, a éste panel llegan dos líneas de alimentación y sale una línea que surte de CO<sub>2</sub> a los páneles de llenado, tal como se puede apreciar en la Figura 20.

Figura 20. Panel del Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>

Adicional a los bancos que constituyen el pulmón, se dispone de un tercer banco que sirve para sustituir inmediatamente aquel que se haya agotado, garantizando de esta forma el suministro constante de CO<sub>2</sub> a los páneles de llenado. En la figura 21 se presentan los tres bancos que conforman el sistema, dos instalados y el tercero de reemplazo.





Figura 21. Bancos que conforman el Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>

Para la realización del trabajo se desarrolló un DFP titulado *Diagrama de Flujo de Proceso – Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>*, el cual se presenta en el Anexo P. La instalación estuvo basada en el DFP desarrollado y el trabajo fue realizado por la contratista *Tecryse* a cargo del Sr. Rafael Olivet.

Una vez completada la instalación de este sistema se realizaron pruebas en planta que permitieron evidenciar una significativa reducción del tiempo empleado en el llenado de mezclas con CO<sub>2</sub>. Específicamente en el caso de las mezclas Mapax 7030 desarrollado en el Panel 931 el tiempo se redujo en un 67 % aproximadamente, ya que antes de la implementación de esta mejora se empleaban 1,5 horas en presurizar con CO<sub>2</sub> una paleta de 12 cilindros, lo que posteriormente se redujo a 0,5 horas (30 minutos).

### **Cambio de la disposición de las solenoides**

Tal como se mencionó en la metodología el cambio de disposición de las válvulas solenoides responde a las recomendaciones del fabricante. La disposición original de las válvulas solenoides para los paneles 901 y 921 se muestra en la figura 22 y 23 respectivamente, donde se evidencia que dichas válvulas se encuentra en posición horizontal, lo que disminuye la vida útil de las mismas.

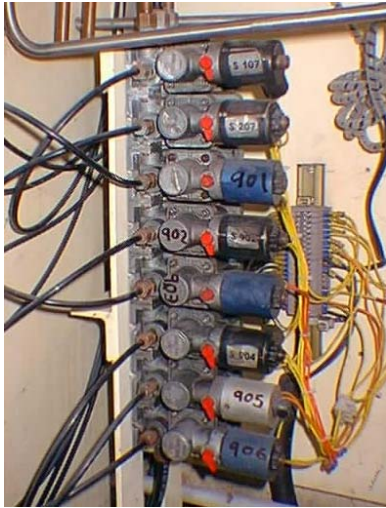


Figura 22. Disposición original válvulas solenoides Panel 901



Figura 23. Disposición original válvulas solenoides Panel 921

Para la realización del cambio se contrataron los servicios de la empresa Mansters Dynamics C.A., representada por el Sr. José Sánchez, quienes debieron realizar ciertos cambios para completar el trabajo por la configuración de las válvulas solenoides, ya que cambiar la posición implicaba más espacio a lo largo del panel, lo cual estaba limitado por la presencia de las bombas de vacío de aceite. Sin embargo, como en ciertos sistemas dichas bombas se encontraban fuera de servicio se planteó aprovechar ese espacio.

En tal sentido, se procedió a desincorporar estas bombas de los Paneles 901 y 921, donde se concretó el cambio, mientras que en el Panel 931, la operatividad de la bomba no permitió la realización de los trabajos. En las figuras 24 y 25 se puede apreciar el cambio realizado.



Figura 24. Cambio de disposición solenoides Panel 901

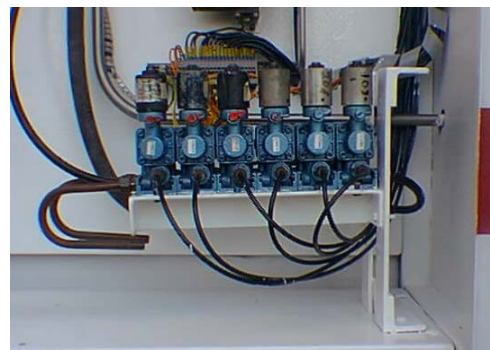


Figura 25. Cambio de disposición solenoides Panel 921

### Cambio del diseño de las arañas

Como se ha explicado anteriormente, las arañas son los medios de acople entre el sistema y los cilindros, los cuales están formados por 12 tramos de tubería flexibles. La configuración original de las arañas se presenta en la figura 26, donde se puede apreciar que la unión entre el manifold y los tramos de tubería flexibles la constituye una tubería en ángulo de 90°. Esta configuración presenta la desventaja de que cuando se acoplaban los flexibles a los cilindros, éstos se veían forzados por los cambio de curvatura, tal como se muestra en la figura 27.

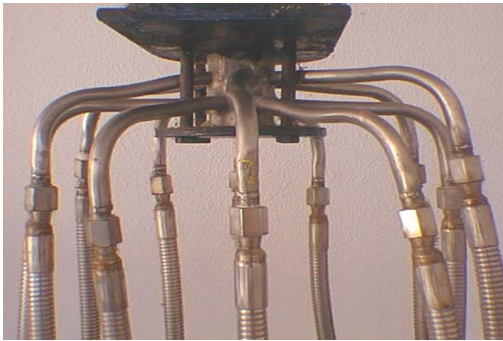


Figura 26. Diseño original de la araña



Figura 27. Curvatura original de los flexibles acoplados a los cilindros

Para evitar la situación evidenciada en la figura 27, se procedió a cambiar el diseño de la araña, el cual se desarrolló en base a las siguientes especificaciones:

1. El acople entre el manifold y los flexibles se realiza a través de una tubería lineal, originando un aspecto de paraguas con curvaturas suaves.
2. Al poseer el manifold salidas a dos niveles, se tomó como pauta que para las salidas superiores la unión con el flexible se realiza con una tubería de 7 cm, mientras que en las salidas inferiores el tramo de tubería es de 4 cm de largo. Esta diferencia permite predestinar los flexibles de las salidas superiores a los cilindros más externos de la paleta.
3. La conexión del flexible con el manifold se realiza en el siguiente orden: primero se acopla el flexible al tramo de tubería y luego se suelda la tubería al manifold,

lo que permite garantizar que los conectores rápidos de los flexibles queden orientados hacia adentro de la araña donde se ubican los cilindros.

Con las pautas anteriores la contratista *Tecryse* a cargo del Sr. Rafael Oliver, desarrolló el diseño requerido, cuya estructura resultante se puede observar en la figura 28. En la figura 29 se muestra el beneficio asociado al cambio, donde las suaves curvaturas obtenidas al completar el acople de los flexibles con los cilindros, aumentan la vida útil de los flexibles.



Figura 28. Diseño mejorado de la araña



Figura 29. Curvatura actual de los flexibles acoplados a los cilindros

### ***Reactivación del Panel 941***

Para la reactivación del Panel 941 se establecieron ciertas pautas que permitieron garantizar que el diseño planteado fuese ejecutado, manteniendo las consideraciones de seguridad y calidad. A continuación se desglosan los parámetros establecidos, los procedimientos empleados y las mejoras implementadas en esta instalación.

#### **Consideraciones de seguridad**

El Panel 941 fue diseñado en sus inicios para el manejo de gases inflamables, por lo que se encuentra retirado de los paneles que manejan gases oxidantes. En tal sentido, se requirió mantener ciertos parámetros de seguridad, entre los que se destacan:

1. Colocar las solenoides lejos de las tuberías que conducen gas, debido a que esta instrumentación posee unas bobinas que operan con 110 V.
2. Emplear transmisores a prueba de explosión.
3. Canalizar por tuberías a prueba de explosión (ex-proof) el cableado que requiera estar dentro del panel.

### **Consideraciones de pureza**

Los Gases Especiales se caracterizan por ser gases de alta pureza. Es por esto que durante la reactivación del Panel 941 se debieron considerar las siguientes pautas a fin de garantizar la calidad ofrecida en los productos:

1. Toda la instrumentación debe ser de acero inoxidable, para evitar los efectos de la corrosión
2. Las tuberías que manejan gases deben ser electropulidas, ya que las mismas presentan un número reducido de poros donde se puede acumular suciedad y afectar la pureza.
3. Evitar la presencia de conectores, por ser éstos puntos que deterioran la calidad de la materia prima por difusión.
4. Las uniones de tuberías deben realizarse con un equipo orbital de soldadura TIG, cuyos conductos sean purgados con argón de alta pureza, a fin de evitar la consecuente oxidación.

### **Diagrama de Distribución Física**

En el Anexo Q se presenta el Diagrama de Distribución Física del Panel 941, en el cual se muestra la ubicación de las válvulas, instrumentos y equipos asociados al sistema, así como el sentido y recorrido de las tuberías, a fin de mantener el orden y la armonía dentro y fuera de la estructura que constituye el panel.

### **Cambios requeridos para la automatización**

Durante la reactivación del Panel 941 se debieron realizar cambios y adicionar instrumentación con el fin de garantizar la operatividad del sistema en modo automático. Por tal motivo se debió instalar una válvula neumática de vacío principal que suplante la

válvula manual con la que operaba el sistema, lo cual implicó una redistribución de la instrumentación en esta línea a fin de cumplir con las pautas establecidas en el Diagrama de Flujo del Proceso y con el orden planteado en el Diagrama de Distribución Física.

En la figura 30 se presenta la estructura original de la línea de vacío, en la cual se encontraba solo una válvula manual. En la figura 31 se muestra la configuración final implementada, donde se puede apreciar la instalación de la válvula neumática por debajo de la manual y de la línea del transmisor de presión de vacío.



Figura 30. Estructura Original de la Línea de Vacío



Figura 31. Estructura Actual de la Línea de Vacío

### Mejoras Implementadas durante la reactivación

Durante la reactivación del Panel 941 se aprovechó para reorganizar y mejorar aspectos que no habían sido contemplados o realizados anteriormente. Incluso se implementaron mejoras que quedaron como propuestas para el resto de los paneles, entre las que podemos mencionar: disminución del número de conectores, fijar y sujetar adecuadamente toda la instrumentación, mejorar el tendido de tuberías de alimentación y sustituir las válvulas solenoides. A continuación se presentan los resultados asociados a estos cambios.

#### ✦ *Disminución del número de conectores*

Para cumplir con las consideraciones de pureza establecidas, durante la compra de los instrumentos y la realización de la instalación se evitó en la medida de lo posible la presencia de los conectores. En tal sentido, se requirió el uso de la máquina orbital de soldadura TIG y se buscó implementar válvulas con extensiones de tubería en lugar de conexiones.

Como resultado de esta consideración se obtuvo un sistema donde el 100 % de las uniones son soldadas, es decir, todas las conexiones entre tramos de tubería, los cambios de diámetros, uniones en “T” y las cruces existentes en el panel cumplen con esta característica, tal como se muestra a continuación:



Figura 32. Tramo de tubería soldado

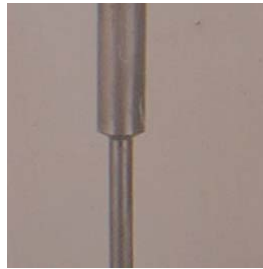


Figura 33. Cambio de diámetro soldado



Figura 34. “T” con cambio de diámetro soldada

Para las válvulas neumáticas del sistema el porcentaje de conexiones soldadas también se mantuvo elevado, evidenciándose 9 de las 12 válvulas neumáticas con extensiones de tubería. Es importante señalar que las 3 válvulas neumáticas restantes permanecieron con conectores por ser de un modelo diferente, que ya estaban disponibles en planta y en buen estado. A continuación se muestran los tres tipos de válvulas neumáticas presentes en el sistema.



Figura 35. Válvula con extensiones soldables

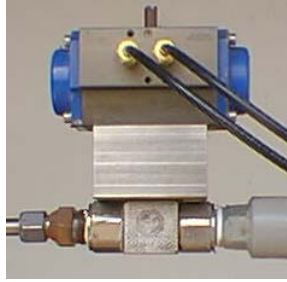


Figura 36. Válvula con conectores Línea de vacío



Figura 37. Válvula con conectores principal de vacío

En la figura 35 se observa una válvula con extensiones de tubería soldables las cuales prevalecen en el sistema y a la derecha, se muestran los dos modelos de válvulas que permanecen con conexiones. En la figura 36 se presenta la válvula de vacío de las arañas de las cuales hay dos en el sistema, y en la figura 37 se muestra la válvula de vacío principal, todas estas válvulas estaban disponibles en planta y en buen estado, por lo que permanecieron en el sistema.

En lo que se refiere a las válvulas manuales, no se consiguió en el mercado válvulas que cumplieran con los requerimientos básicos y que además tuvieran extensiones soldables, lo que originó que las 6 válvulas manuales de las líneas de alimentación y la válvula manual de venteo sean con conectores. El modelo de estas válvulas se muestra en la figura 38



Figura 38. Válvulas manuales con conectores

#### ✦ *Fijar y sujetar adecuadamente la instrumentación*

Para cumplir con las normativas de seguridad se mandaron a fabricar soportes que mantuviesen fija y bien sujeta toda la instrumentación del panel. En tal sentido, se realizaron 4 soportes que complementaban las sujeciones ya existentes dentro de la estructura que conforma el Panel 941, las cuales son:

1. Una placa a lo largo del panel donde se ubican las válvulas manuales de alimentación de las líneas de Ar, N<sub>2</sub>, He y CO<sub>2</sub>, el cual se observa en la figura 39.



2. Un soporte para la válvula manual de venteo, el cual posee una forma de “L” del tamaño de la válvula, tal como se muestra en la figura 40
3. Un soporte en “L” para la tubería de vacío principal, la cual se encuentra en la parte externa del panel y se puede observar en la figura 41.
4. Un ángulo que permite soportar la línea del transmisor de presión de vacío, el cual se muestra en la figura 42.



Figura 39. Soporte válvulas manuales de alimentación



Figura 40. Soporte válvula manual de venteo

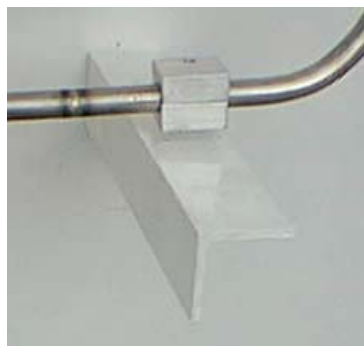


Figura 42. Soporte del transmisor de presión de la línea de vacío



Figura 41. Soporte de la línea de vacío

#### ✦ *Mejorar el tendido de las tuberías externas del panel*

Para mantener la estética y el orden de las tuberías en la planta se realizó un cambio en los puntos de entrada y salida de las líneas del panel. Originalmente, cada línea se ubicaba en el punto donde se encontraba la válvula correspondiente, quedando las tuberías tendidas a lo largo del panel sin un orden aparente. Es por esto que se decidió organizar todas las tuberías que llegan y salen del panel, canalizando las mismas a lo ancho de la estructura del panel,

realizando los cambios de dirección en el techo del panel para ingresar en los puntos correspondientes.

En las figuras 43 y 44 se muestra el antes y el después de la implementación de este cambio.



Figura 43. Tendido original de tuberías externas del Panel 941.



Figura 44. Tendido mejorado de las tuberías externas del Panel 941

Adicionalmente, se requirió fabricar una placa que borde el panel para no dejar visibles los cambios de dirección de las tuberías en el techo del panel. En la figura 45 se muestra la distribución final de las tuberías en la parte superior del panel, evidenciándose como se mantiene la armonía del tendido de tuberías en toda la planta.



Figura 45. Tendido de tuberías en la parte exterior del Panel 941 y en la Planta

Este cambio está considerado en el Diagrama de Distribución Física – Panel 941, ubicado en el Anexo Q de este trabajo, en el cual se puede evidenciar el orden de cada línea en el tendido, así como en punto de entrada de la misma al panel.

#### ✦ *Sustitución de las válvulas solenoides*

Para garantizar la operatividad de las válvulas neumáticas se procedió a sustituir las válvulas solenoides que se encontraban, por unas de marca Camozzi con las siguientes especificaciones: válvulas solenoides de 5 vías con accionamiento eléctrico y reposición por muelle mecánico, alimentadas por una bobina que maneja 110 V y con una presión neumática entre 2 y 10 bar.

Se instaló un total de 12 válvulas solenoides, las cuales van ensambladas en unos manifold de cuatro compartimientos por lo que se instalaron tres manifold, acoplados en serie y alimentados con nitrógeno neumático por ambos extremos, el cual se encuentra lubricado según las especificaciones del fabricante.

En las figura 46 se muestran las válvulas solenoides originales, mientras que en la figura 47 se puede apreciar la instalación de las nuevas válvulas. En las mismas se puede evidenciar lo compacto y práctico del modelo implementado en comparación con el modelo anterior.

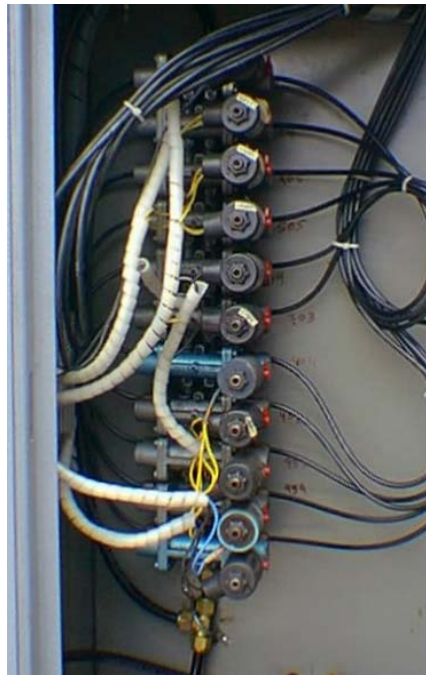


Figura 46. Válvulas solenoides originales del Panel 941



Figura 47. Válvulas solenoides instaladas en el Panel 941

Dichas válvulas se encuentran ubicadas en un panel retirado del área productiva para cumplir con las consideraciones de seguridad especificadas anteriormente. Este panel se encuentra en el patio delantero de la planta, del lado izquierdo del área de pulmones y al cual llegan las señales eléctricas desde el PLC y de allí salen las líneas neumáticas hasta el Panel 941. En la figura 48 se observa del lado izquierdo el panel de las solenoides con una señalización que indica “Riesgo eléctrico” y del lado derecho el Panel 941.



Figura 48. Ubicación del panel de las válvulas solenoides

La instalación neumática fue realizada por la contratista *Instalaciones y Montajes Álvarez*, a cargo del Sr. Francisco Álvarez, quien realizó el montaje de los manifold y de las solenoides, el suministro de nitrógeno neumático a los manifold, la identificación y acople de las mangueras neumáticas a las válvulas del panel. En la figura 49, se observa el sistema de alimentación neumática asociado a esta instalación, donde la “T” da la ramificación que permite alimentar a ambos extremos de los manifolds acoplados en serie.

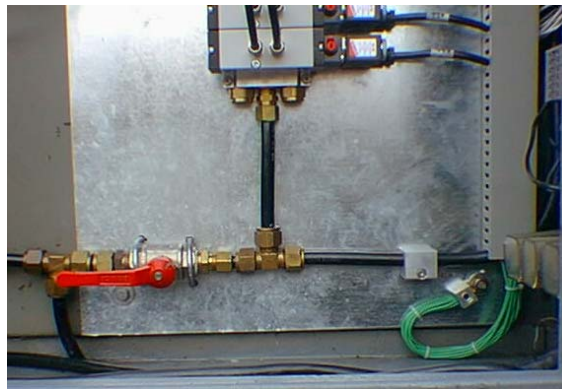


Figura 49. Sistema neumático de alimentación a las válvulas solenoides

Posteriormente se realizó la instalación eléctrica de las solenoides a cargo de la empresa *Electrón Digital*, representada por el Sr. Enrique Zuleta, los cuales instalaron la borna, identificaron las señales desde el panel de control y realizaron el acople eléctrico hasta las bobinas de las solenoides. En la figura 50 se puede apreciar la borna que conecta la señal del PLC a las válvulas solenoides del Panel 941, así como el cableado correspondiente.

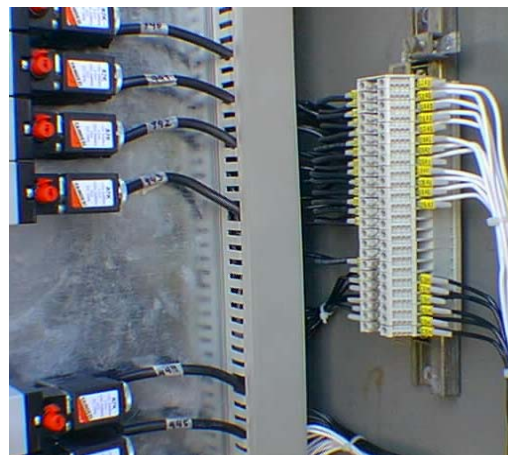


Figura 50. Cableado de las válvulas solenoides del Panel 941

### Configuración resultante del Panel 941

En la figura 51 se muestra la estructura final obtenida del Panel 941. En la misma se pueden apreciar tres zonas:

- La zona superior, donde se ubican las válvulas de alimentación y la válvula de venteo. Esta zona va desde el techo del panel hasta la parte superior del selector de gas.
- En la zona central se ubican las válvulas de las arañas, la válvula antirretorno y el transmisor de presión de la línea principal, así como el selector de gas.
- Finalmente en la zona inferior, que comienza debajo de la línea principal del panel, se encuentra el transmisor de presión de la línea de vacío, el cajetín a prueba de explosión del control de la bomba de vacío y la instrumentación asociada a la línea de suministro del laboratorio, es decir, la válvula neumática y el regulador de presión correspondiente.

Para la distribución de las válvulas neumáticas dentro del panel se aprovecharon los soportes existentes. En tal sentido se pueden listar las mismas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, cumpliéndose el siguiente orden:

1. Válvula de alimentación de He,
2. Válvula de alimentación de N<sub>2</sub>,
3. Válvula de alimentación de CO<sub>2</sub>,
4. Válvula de alimentación de Ar,
5. Válvula de alimentación del Multipunto (Mp),
6. Válvula de venteo,
7. Válvula de alimentación a la araña derecha,
8. Válvula de alimentación de la araña izquierda,
9. Válvula de alimentación de muestra al laboratorio.

Respecto a la distribución de las tuberías dentro de la estructura del panel, en la figura 51 se puede apreciar que se mantuvo cierto orden, realizándose los recorridos principales a los extremos del sistema y los cambios de dirección para entrar o salir del panel en el techo del mismo.



Figura 51. Configuración resultante de la reactivación del Panel 941

### **Alcance de la reactivación del Panel 941**

La reactivación del Panel 941 se ha visto limitada por los retrasos en la entrega de ciertos instrumentos, por ser éstos importados, lo que afectó el desarrollo de esta tarea para este Trabajo Especial de Grado. Hasta el momento de concretarse esta tesis, casi toda la instrumentación se encontraba instalada y operativa, a excepción de los transmisores de presión, los cuales no han sido despachados en planta.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, el tendido de tuberías a prueba de explosión para canalizar los cables no pudo ser colocada, por ser los transmisores de presión uno de los puntos de acople de esta tubería.

Por todo lo antes expuesto, a continuación se presentan la serie de pasos a seguir para completar la reactivación de este panel:

1. Una vez que se dispongan de los transmisores, se debe verificar el tipo de conexión requerida.
2. Adquirir el tipo de conexión apropiado con el cual se logre el acople con el menor número de conectores.
3. Instalar los transmisores de presión donde corresponda:
  - ◆ El transmisor relativo de 0 – 5000 psig, debe acoplarse en la línea principal del sistema, al lado derecho de la cruz de descarga del selector,
  - ◆ El transmisor absoluto de 0-100 psia debe ser instalado en la parte inferior del panel, específicamente en la tubería que se encuentra acoplada a la línea de vacío.
4. Determinar el recorrido necesario para llevar los cables a cada transmisor y a la bomba de vacío, a fin de determinar la forma de la tubería a prueba de explosión que debe instalarse.
5. Identificar el cable correspondiente a cada equipo.
6. Ingresar los cables adecuadamente por la tubería a prueba de explosión, y
7. Realizar la conexión del cable a cada equipo o instrumento.

Al seguir los pasos expuestos anteriormente se completa la reactivación del Panel 941, quedando pendiente los acoples de la parte operativa con la parte de mando para poder operar este sistema.

Es importante señalar que para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado se limitaron a 5 los productos a llenar a través del Panel 941, ya que sólo se consideraron las líneas de suministro principal de Nitrógeno, Argón y Dióxido de Carbono, sin considerar el uso de la línea de Helio ni la línea Multipunto. Esta decisión estuvo fundamentada en tres aspectos



básicos. El primer motivo está asociado a la búsqueda de simplificar el proceso para facilitar la comprensión del mismo por el personal de Proyectos de Automatización, segundo el tiempo establecido de desarrollo del proyecto de tesis y tercero por consideraciones de seguridad, ya que al momento de concretar este Trabajo de Grado, el panel no estaba totalmente acondicionado para el llenado de inflamables, los cuales son introducidos exclusivamente por la línea Multipunto.

Frente a esta situación, a continuación se presentan los pasos que se deben seguir para diversificar los productos llenados a través del Panel 941:

1. Acondicionar la línea multipunto, a la cual ya se le instalaron las válvulas nuevas con los soportes correspondientes pero faltaría sustituir las líneas de conexión de los cilindros, para lo cual se debe:
  - A. Evaluar los tipos de mangueras flexibles disponibles en el mercado a fin de seleccionar el modelo requerido,
  - B. Identificar los conectores rápidos correspondiente,
  - C. Solicitar, a través del Departamento de Compras, cotizaciones de los materiales y del servicio de instalación requerido.
  - D. Realizar barridos en las líneas para eliminar cualquier suciedad y garantizar el estado de las tuberías
  - E. Realizar la instalación con la coordinación y supervisión definida
2. En base a la evaluación realizada de los productos que se pueden obtener en este panel, fijar los parámetros de operación.
3. Profundizar en el procedimiento de operación de la línea multipunto.
4. Desarrollar el programa de funcionamiento automático considerando el uso de esta línea.
5. Incluir estos avances en la programación del PLC.
6. Realizar las pruebas respectivas.

En lo que se refiere a la obtención de productos con Helio, actualmente la misma está limitada por la forma manual que presenta el sistema de suministro de este gas, por lo que no pudo ser desarrollado el modo automático de operación. Sin embargo, la instalación de

esta línea en el panel presenta la ventaja de poder llenar a futuro productos con Helio en modo asistido.

## ***Actualización del Sistema de Control***

### **Revisión del cableado**

El servicio de verificación del cableado y conexiones eléctricas de la planta estuvo a cargo de la empresa *Electrón Digital* representada por el Sr. Enrique Zuleta, los cuales determinaron que los cables existentes se encuentran en buen estado físico y poseen continuidad de la señales desde el panel de control hasta la planta.

Seguidamente se procedió a la actualización de la señalización de los cables, basado en la identificación de los paneles establecida en los Diagramas de Flujo de Proceso actualizados. En la figura 52 se muestra el sistema de señalización de los cables empleado originalmente en la planta, mientras que en la figura 53 se puede apreciar el tipo de señalización implementado en este proyecto.



Figura 52. Señalización original de los cables



Figura 53. Señalización actual de los cables

### Instalación del nuevo panel de control

El nuevo panel de control fue diseñado en función del PLC a implementar. Esta estructura mide aproximadamente 60 x 84 cm y se encuentra ubicado en el panel central del laboratorio, junto con los antiguos paneles de control, específicamente en la parte posterior del primer cubículo de la zona de control. Esta ubicación presenta la ventaja de poder retirar el panel del cubículo para realizar cómodamente los trabajos que sean necesarios.

En la figura 54 se muestra una vista frontal del panel central del laboratorio en condiciones normales, mientras que en la figura 55 se presenta el despliegue que se puede realizar para facilitar posibles trabajos o instalaciones en el nuevo panel de control.



Figura 54. Panel Central de Laboratorio indicando el cubículo del panel de control



Figura 55. Panel Central de Laboratorio con despliegue del Panel de control

El panel de control instalado presenta tres zonas, identificadas como: Zona Superior, Zona Central y Zona Inferior, las cuales se distinguen por las canaletas donde van los cables, tal como se aprecia en la figura 56. A continuación se describen cada una de las zonas que presenta el panel de control:

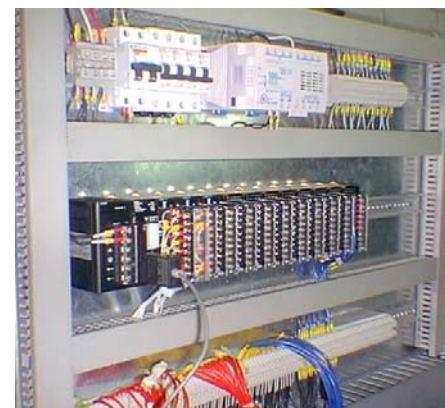


Figura 56. Panel de Control instalado

- Zona superior:** donde se ubican los interruptores de alimentación, la fuente de poder y las bornas de los transmisores de presión de toda la planta.

Este panel de control es alimentado con 110 V desde un interruptor principal del tablero que se ubica en la parte posterior del panel central del laboratorio. La tensión llega a unas bornas ubicadas en el extremo superior izquierdo del panel de control y de allí se alimentan los diferentes interruptores.



Figura 57. Zona superior - Interruptores de tensión

El primer interruptor alimenta el CPU del PLC y a la fuente de poder de los transmisores de presión, y los otros cuatro corresponden a cada uno de los módulos digitales de los paneles, tal como se ejemplifica en la figura 57.

La fuente de poder se puede apreciar en la figura 58. La misma se encuentra dispuesta del lado derecho de los interruptores y es empleada para energizar los transmisores de presión de la planta.



Figura 58. Zona superior - Fuente de alimentación

En la borna ubicada en el extremo superior derecho de panel, llegan las señales de todos los transmisores de presión de la planta. Los cables se alimentan a las bornas por la parte superior identificados de acuerdo al instrumento que corresponda, ordenados de izquierda a derecha, en el mismo orden que a continuación se presenta:

- PT-101 línea de alimentación de Nitrógeno,

- PT-201 línea de alimentación de Argón,
- PT-301 línea de suministro de Oxígeno,
- PT-401 línea de alimentación de Dióxido de carbono,
- PT-501 línea de suministro de Helio,
- PT-901 línea principal del Panel 901
- PT-902 línea de vacío del Panel 901
- PT-921 línea principal del Panel 921
- PT-931 línea principal del Panel 931
- PT-932 línea de vacío del Panel 931
- PT-941 línea principal del Panel 941
- PT-942 línea de vacío del Panel 941

En la figura 59 se puede apreciar la borna de los transmisores de presión de toda la planta.



Figura 59. Zona Superior Panel de Control - Borna de los transmisores de presión

**2. Zona Central.** En esta zona se encuentra el PLC, el cual está constituido por 13 módulos ordenados de izquierda a derecha de la siguiente manera:

- Fuente de poder del PLC,
- CPU,
- Dos entradas analógicas,
- Cuatro entradas digitales, y
- Cuatro salidas digitales.

Todos los cables que llegan al PLC son alimentados por la parte inferior del mismo, y en ellos la identificación está referida a la dirección de la señal. En la figura 60 se puede apreciar la zona central del panel de control, con el PLC y las conexiones realizadas.

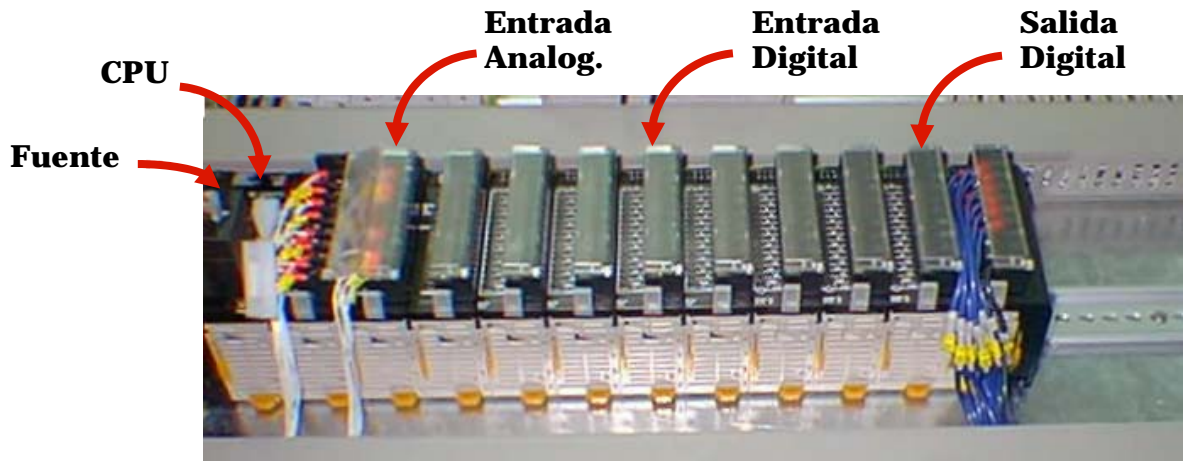


Figura 60. Zona Central del panel de control - PLC

- Zona inferior**, en la cual se encuentran las bornas de los paneles agrupadas por bloques de acuerdo a cada panel. En tal sentido el primer bloque corresponde a las señales del Panel 901, a su derecha se encuentra el bloque correspondiente al panel 921, seguidamente se encuentra el bloque de las señales del Panel 931 y en el último bloque se encuentran las señales del Panel 941. Cada uno de estos bloques están separados por unas bornas de color verde lo que facilita visualizar la separación de las señales asociadas a cada panel.

Por la parte inferior de cada una de estas bornas llegan los cables desde la planta por lo que la identificación corresponde a la instrumentación asociada, mientras que los cables que salen por la parte superior de las bornas van al PLC, empleándose en este caso la dirección de la señal para la identificación respectiva.

Tal como se evidencia en la figura 61, lo acoples de las señales de la instrumentación de los diferentes sistemas a las bornas de la zona inferior se realizó para todos los paneles, pero sólo se concretó la unión de estas señales con

el PLC para el Panel 941 por ser éste el único sistema fuera de servicio. Para el resto de los paneles se evidencia el puenteo realizado, donde las señales de la instrumentación llegan a las bornas del nuevo panel de control y de allí salen unos cables para cada uno de los controladores con los que actualmente opera la planta.

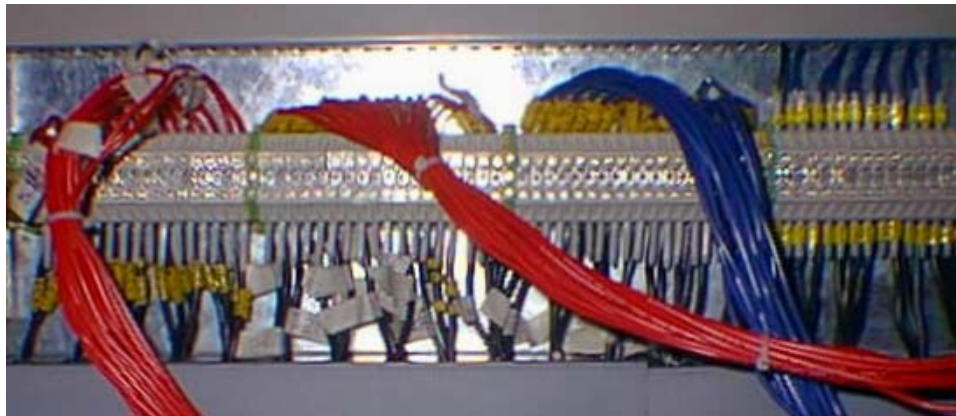


Figura 61. Zona inferior del Panel de Control – Bornas de los paneles

### Programación del PLC

La asignación de señales fue la pauta requerida para el desarrollo de la programación del PLC. Estas direcciones fueron desarrolladas en base a la estructura modular del controlador empleado en este proyecto, resultando 4 tablas ubicadas en el Anexo R. La definición de dichas direcciones estuvo basada en las siguientes pautas:

- Las direcciones de las señales analógicas son identificadas con la siguiente estructura:

20XY

donde: X = indica el número del módulo analógico, los cuales se comienzan a enumerar desde cero,

Y = indica el canal dentro del módulo al cual va acoplada la señal.

- Las direcciones digitales están constituidas por dos números:

A.B

donde: A = indica el número del módulo digital, los cuales se comienzan a enumerar desde cero,

B = indica el canal dentro del módulo al cual va acoplada la señal, los cuales se enumeran desde el 00 al 16.

Seguidamente el personal de proyectos de automatización, Ricardo Gómez y Jorge Cárdenas, en conjunto con el Ingeniero Boris Bayona, desarrollaron la programación del PLC en lenguaje Ladder bajo los parámetros establecidos en los DLF desarrollados en este trabajo (ver Anexo L). Debido a que el programa desarrollado es bastante extenso, en el Anexo S se presenta una muestra del algoritmo, en el cual se puede apreciar la estructura empleada en el desarrollo de esta tarea.

### **Diseño de Esquemáticos**

Los esquemáticos son las pantallas que permiten establecer la interfase hombre-máquina, con la ventaja de mostrar la información de forma gráfica y dinámica, lo cual permite una interacción más efectiva entre los operadores y los paneles.

Para el desarrollo de este medio informativo se requirió organizar la información y desarrollar modelos para que el equipo de automatización desarrollara en i-FIX los esquemáticos bajo las pautas establecidas.

### ***Clasificación de los Esquemáticos.***

Para facilitar el manejo de la información se clasificaron los esquemáticos en cuatro grupos: Maestros, Principales, Auxiliares y Misceláneos, cada uno desarrollado con una finalidad particular, la cual se explica a continuación:

#### **➤ *Esquemáticos Maestros***

Son aquellas pantallas que permiten cargar los datos indispensables para el desarrollo de cada proceso, por lo que son las primeras pantallas que aparecen. En ellas se incluye desde la selección del panel a operar hasta la introducción de los seriales de los cilindros involucrados en el proceso.

Los esquemáticos maestros permiten arrancar los diferentes procesos desde el PLC de forma automática.



➤ *Esquemáticos Principales*

Estos esquemáticos se presentan luego de la selección del panel y la introducción de la data requerida, los mismos permiten visualizar el sistema a operar: muestran la instrumentación y equipos asociados, la señalización y la distribución física de los mismos en el panel, los puntos donde los transmisores toman la señal y los indicadores de las variables de control relacionadas con el proceso.

Se presentan tantos esquemáticos principales como pánels automatizados, los cuales poseen diferentes zonas de selección que permiten la comunicación con otros esquemáticos. Dichas pantallas presentan la ventaja de visualizar la secuencia de pasos que se ejecuta automáticamente desde el PLC. Adicionalmente, permiten manipular el proceso durante la operación asistida.

➤ *Esquemáticos Auxiliares*

Son las pantallas que muestran a los operadores los eventos y problemas ocurridos durante la ejecución del proceso. Son medios informativos que dependen de acciones manuales y de la selección de opciones por parte del operador para que el sistema pueda continuar con la operación automática correspondiente. Presentan la ventaja de dejar registro de las eventualidades para posteriormente analizarlas y tomar las acciones requeridas. Se clasifican en: esquemáticos de eventos y esquemáticos de problemas.

- Esquemáticos de Eventos: presentan situaciones que pueden ser resueltas, pudiéndose continuar o no con el proceso, dependiendo de la acción que tome el operador.
- Esquemáticos de Problemas: son aquellas pantallas que informan sobre situaciones que originan una parada de proceso. En estas se muestran las posibles causas del problema y, en algunos casos, se presentan las acciones que debe tomar el operador para completar la parada.

➤ *Esquemáticos Misceláneos*

Muestran información general útil para los usuarios y registros importantes que deben quedar en el sistema. Estos esquemáticos incluyen: los set-points, los gráficos asociados

a los procesos, el código de equipos, la señalización de la instrumentación, la dirección de las señales y la interrelación de los esquemáticos.

- **Set-points:** se presentan los valores determinantes para el proceso, tales como presiones parciales de las mezclas, presiones finales de llenado, tiempo asociado a etapas, etc. Esta pantalla se presenta como informativa y tiene la opción de ser modificada al ingresar una clave.
- **Gráficos de proceso:** se genera de forma automática, evidenciando el comportamiento de la presión durante el desarrollo del proceso.
- **Código de Equipos:** muestra los símbolos asociados a cada instrumento y equipo empleado en los esquemáticos principales. En esta pantalla se incluye la identificación del estado de operación de cada equipo.
- **Señalización de la instrumentación:** proporciona información acerca de la identificación y la descripción de la función de la instrumentación de cada sistema.
- **Dirección de señales:** en este esquemático se representa el cableado involucrado entre la instrumentación y los módulos del PLC, mostrándose la identificación asociada.
- **Interrelación de Esquemáticos:** muestra como se relacionan los esquemáticos entre sí, a través de un diagrama.

### ***Modelo de Esquemáticos***

En este apartado se presentan los modelos de los esquemáticos, donde se muestra la información requerida y el esquema de presentación planteado.

#### ***➤ Esquemáticos Maestros***

Para el manejo de la información relacionada con los datos principales requeridos en cada proceso, se desarrollaron tres tipos de esquemáticos los cuales se presentan a continuación. En esta parte se describe cada pantalla y se presenta el modelo planteado para cada caso.

- ***Información principal.*** Es el primer esquemático que se despliega al iniciar un proceso, a través del cual se selecciona el panel a emplear y el operador encargado,

quien posee una clave que debe ingresar para acceder al proceso. Este esquemático maestro posee un botón de interacción con los esquemáticos misceláneos, llamado “Información”. En la figura 62 se muestra el modelo planteado, donde el operador encargado es Javier Montenegro y el panel a emplear es el Panel 941.



PLANTA GASES ESPECIALES  
San Vicente - Maracay

• Operador encargado:

Javier Montenegro Eduardo Pérez Otro

Login: \*\*\*\*\*

• Selección el Panel:

Panel 901 Panel 921 Panel 931 Panel 941

Información Cont. Salir

Figura 62. Información Principal

▪ *Datos del Llenado.* En este esquemático se selecciona el modo de operación, la procedencia de los cilindros, el tipo de producto a llenar (gas puro o mezcla), las especificaciones del producto requeridas (tales como tipo de gas puro, calidad y/o tipo de mezcla), la araña a emplear y adicionalmente se cargan los seriales de los cilindros a ser llenados en ese lote. Cada uno de los datos cargados en este esquemático son imprescindible para iniciar el proceso, por lo cual se tiene la restricción de continuar sólo cuando se completen todos los items. Como cada producto posee especificaciones diferentes, a continuación se muestran los diferentes modelos requeridos de acuerdo a la selección realizada.

Los despliegues asociados al llenado de un Gas Puro dependen del gas a llenar (Nitrógeno o Argón), ya que cada uno posee calidades diferentes, por lo tanto fue necesario desarrollar dos modelos, los cuales se muestran a continuación:

A. Para el llenado de Nitrógeno Puro se presentan 2 calidades: AP y UAP. En la figura 63 se estaría realizando el llenado automático de un Nitrógeno calidad UAP, cuya procedencia es el Panel 921 y empleando ambas arañas.

Figura 63. Datos del llenado asociado al gas puro Nitrógeno.

B. En caso de realizar el llenado de un Argón Puro, se presentan 3 calidades: AP, UAP y Espectrometría. En la figura 64 se muestra un llenado de 6 cilindros de Argón Espectrometría en la araña izquierda, donde los cilindros provienen de los clientes.

Figura 64. Datos del llenado asociados al Gas Puro Argón

Para el caso en que el tipo de producto a obtener es una mezcla, se presentan directamente las posibles mezclas para realizar la selección, luego de lo cual aparece la composición de la misma.

C. En caso del Panel 941 los tipos de mezcla son: Agamix 22, Mapax 0030, Mapax 0050 y Mapax 0080. En la Figura 65 se presenta la data asociada a la obtención de un lote de mezcla Mapax 0030 de forma automática, de la cual se están llenando 12 cilindros que provienen de los clientes por la araña derecha.

**Panel 941** PLANTA GASES ESPECIALES San Vicente - Maracay Linde Gas | AGA

- **Modo de Operación:** Automático | Asistido
- **Procedencia de los cilindros:** Panel 921 | Clientes
- **Tipo de Producto a llenar:** Gas Puro | Mezcla
- **Mezcla a llenar:** Agamix 22 | Mapax 0030 | Mapax 0050 | Mapax 0080
- **Composición de la Mezcla:** La mezcla a llenar posee 2 componentes: 30 % CO<sub>2</sub> / Balance N<sub>2</sub>
- **Araña a emplear:** S-942 Izquierda | S-941 / S-942 Ambas | S-941 Derecha

Lote: Araña Derecha 090804-411

Nº de cilindros: 12

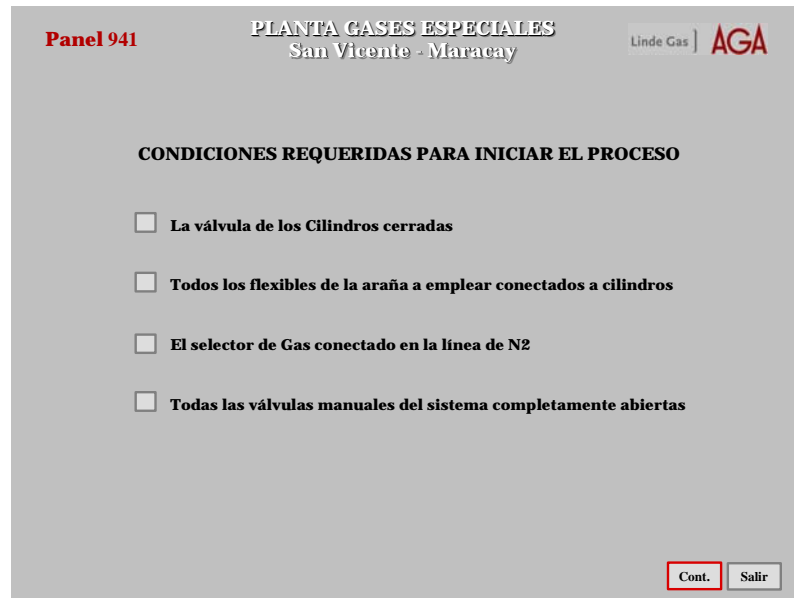
Seriales:

1.- _____	7.- _____
2.- _____	8.- _____
3.- _____	9.- _____
4.- _____	10.- _____
5.- _____	11.- _____
6.- _____	12.- _____

Cont. | Salir

Figura 65. Datos del llenado asociados a las mezclas

- *Condiciones requeridas.* Existen condiciones que no pueden ser verificadas por el sistema, por lo cual deben ser garantizadas por los operadores. Es por esto que se presenta un esquemático donde se listan cada una de las condiciones que se deben verificar antes de iniciar el proceso las cuales, una vez chequeada, deben ser marcadas en el recuadro ubicado delante de cada punto. El modelo desarrollado para este esquemático se presenta en la figura 66.



The screenshot shows a control panel interface for 'PLANTA GASES ESPECIALES San Vicente - Maracay'. The panel is titled 'Panel 941' and includes logos for 'Linde Gas' and 'AGA'. The main heading is 'CONDICIONES REQUERIDAS PARA INICIAR EL PROCESO'. Below this heading, there are four unchecked checkboxes with the following text: 'La válvula de los Cilindros cerradas', 'Todos los flexibles de la araña a emplear conectados a cilindros', 'El selector de Gas conectado en la línea de N2', and 'Todas las válvulas manuales del sistema completamente abiertas'. At the bottom right, there are two buttons: 'Cont.' (highlighted with a red box) and 'Salir'.

Figura 66. Condiciones requeridas para iniciar el proceso

#### ➤ *Esquemáticos Principales*

Los esquemáticos principales muestran el proceso con sus tuberías, instrumentos y partes importantes, basado en los DFP desarrollados en este mismo proyecto. Éstas son las pantallas que tendrá visible el operador durante la ejecución del proceso.

En estos esquemáticos se plantean tres zonas principales: la zona superior donde se presenta la identificación del panel y el proceso (llenado o tratamiento) que se está realizando, el logo de la empresa, la fecha y la hora de ejecución. Adicionalmente, para los sistemas de llenado se indica en el membrete el tipo de producto a obtener y el modo de operación del panel

En la zona central se muestra el esquema del panel con la distribución física de los instrumentos y la señalización asociada. En esta parte se evidencian las señales de las variables, las cuales se encuentran en la parte inferior del transmisor en color verde para resaltar el valor. Adicionalmente, se visualiza el desarrollo del proceso a través de dos formas: primero se observa el estado de operación de la instrumentación lo que da la secuencia de pasos, y segundo se representa como niveles en los cilindros las etapas del proceso, bien sea llenado o vaciado de los mismos a medida que cambia la presión.

Finalmente, en la zona inferior se localizan los botones que permiten la interrelación con los demás esquemáticos.

En la Figura 67 se muestra un modelo de un esquemático principal donde se desarrolla el llenado de Nitrógeno en el Panel 941

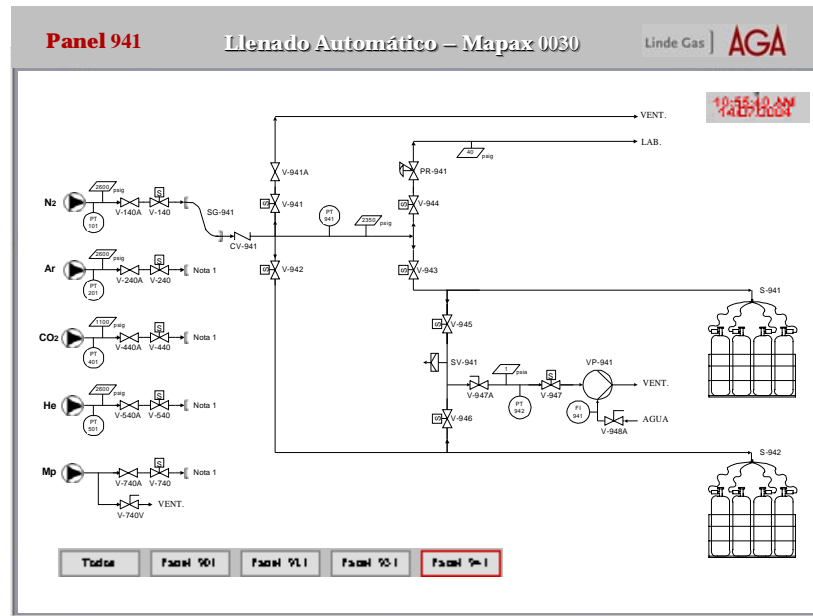


Figura 67. Proceso en ejecución.

➤ *Esquemáticos Auxiliares*

Tal como se explicó anteriormente, los esquemáticos auxiliares se clasifican en dos tipos, cuyos modelos se presentan a continuación.

- *Esquemáticos de Eventos.* Durante la ejecución del llenado y tratamiento de cilindros se desarrolla la prueba de fuga automática por parte del sistema, la cual puede presentar la eventualidad de detectar una variación de presión considerable, por lo que se despliega la pantalla de eventos titulada “Fuga Detectada”. Éste esquemático se indica la acción que el operador debe tomar y se presenta una pregunta, a partir de la cual se despliega una u otra opción. A continuación se presentan los modelos de esquemáticos asociados.

En caso de seleccionar Fuga ubicada, el operador debe indicar el punto de fuga y evaluar la posibilidad de corregir la fuga. En caso de no ubicar la fuga se presenta la opción de repetir la prueba de fuga automática. En tal sentido se generan 4 esquemáticos, los cuales son:

A. Cuando SI se ubica la fuga y SI se puede corregir.

The screenshot shows a software interface titled "Fuga Detectada" with the Linde Gas AGA logo in the top right corner. The main text reads: "El sistema permanece presurizado. Proceda a ubicar fuga con solución jabonosa". Below this, there is a question "Ubicó el punto de Fuga?" with two radio button options: "SI" (selected) and "NO". A central box titled "FUGA UBICADA" contains the instruction "Indique el Punto de Fuga:" followed by a text input field. Below that, another question "Puede corregir la fuga?" has two radio button options: "SI" (selected) and "NO". At the bottom of this box, there is a note: "\* Proceda a corregir la fuga y pulse listo para continuar" followed by a "Listo" button. A "Salir" button is located in the bottom right corner of the main interface.

Figura 68. Fuga detectada, opción si ubicada y si corregir

B. Cuando SI se ubica la fuga y NO se puede corregir.

The screenshot shows the same "Fuga Detectada" interface as Figure 68. The main text is identical: "El sistema permanece presurizado. Proceda a ubicar fuga con solución jabonosa". The question "Ubicó el punto de Fuga?" has "SI" selected. The central box titled "FUGA UBICADA" contains the instruction "Indique el Punto de Fuga:" followed by a text input field. Below that, the question "Puede corregir la fuga?" has "NO" selected. At the bottom of this box, there is a note: "\* Contacte al personal especializado para corregir la fuga, ya que bajo estas condiciones no se puede realizar el llenado" followed by a "Listo" button. A "Salir" button is located in the bottom right corner of the main interface.

Figura 69. Fuga Detectada, opción si ubicada y no corregir



## C. Cuando NO se ubica la Fuga y SI se desea repetir la prueba



Linde Gas | AGA

## Fuga Detectada

El sistema permanece presurizado.  
Proceda a ubicar fuga con solución jabonosa

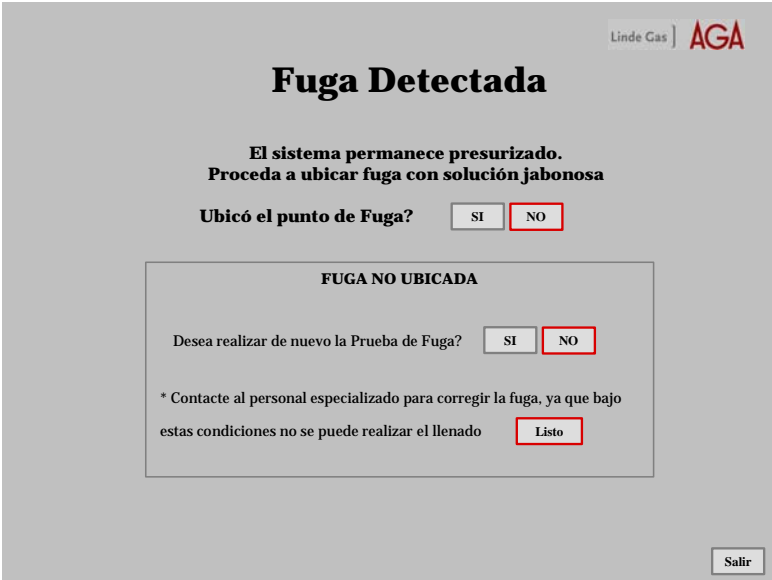
Ubicó el punto de Fuga?  SI  NO

**FUGA NO UBICADA**

Desea realizar de nuevo la Prueba de Fuga?  SI  NO

Figura 70. Fuga detectada, opción no ubicada y si repetir

## D. Cuando NO se ubica la Fuga y NO se desea repetir la prueba



Linde Gas | AGA

## Fuga Detectada

El sistema permanece presurizado.  
Proceda a ubicar fuga con solución jabonosa

Ubicó el punto de Fuga?  SI  NO

**FUGA NO UBICADA**

Desea realizar de nuevo la Prueba de Fuga?  SI  NO

\* Contacte al personal especializado para corregir la fuga, ya que bajo estas condiciones no se puede realizar el llenado

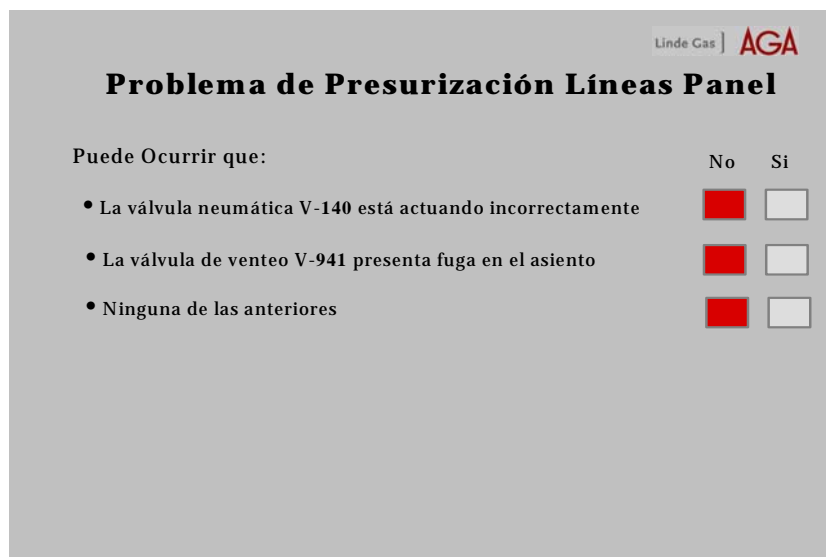
Figura 71. Fuga detectada, opción no ubicada y no repetir

- *Esquemático de Problemas.* Como se mencionó anteriormente, estos esquemáticos son generados cuando se evidencia un problema durante la ejecución del proceso con el fin de orientar al operador sobre los puntos que debe verificar. Es importante señalar que

cada planteamiento está redactado de forma que en condiciones normales la respuesta es NO. De este modo la opción se cambiaría a SI cuando se realiza una selección, quedando de forma automática el registro y generándose las acciones asociadas para ir a una parada del proceso.

Durante la ejecución del proceso se pueden presentar 3 problemas los cuales son: problema de presurización de las líneas del panel, problema de venteo y problema de vacío en el sistema. Cada uno de estos modelos se presentan a continuación:

A. Problema de Presurización Líneas del panel. Esta pantalla se presenta cuando la presión del sistema no sube en el tiempo que se espera. Este problema se puede presentar durante las presurizaciones para prueba de fuga, purga o durante el llenado. En la figura 72 se presenta el modelo correspondiente a este esquemático.



Linde Gas | AGA

### Problema de Presurización Líneas Panel

Puede Ocurrir que:

	No	Si
• La válvula neumática V-140 está actuando incorrectamente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La válvula de venteo V-941 presenta fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ninguna de las anteriores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 72. Problema de Presurización Líneas Panel

B. Problema de Venteo. Generado cuando la presión del sistema durante el venteo no disminuye con la rapidez esperada. Se puede presentar en varias partes del proceso, entre las que se pueden mencionar la prueba de fuga, las purgas, luego del llenado y al ocurrir una parada del proceso. El modelo asociado se muestra en la figura 73.

Linde Gas | AGA

### Problema de Venteo

Puede Ocurrir que:

	No	Si
• La válvula de alimentación V-(G)40 tiene fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La válvula neumática V-941 está actuando incorrectamente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ninguna de las anteriores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 73. Problema de Venteo

C. Problema de Vacío. Este problema lleva asociado dos esquemáticos, ya que según sea la estructura de la subrutina de vacío se presentan dos situaciones que pueden verse afectadas por causas diferentes. Al hacer vacío se puede presentar un problema inicial originado cuando la presión del sistema no disminuye en el tiempo esperado,. El modelo correspondiente se presenta en la figura 74.

Linde Gas | AGA

### Problema de Vacío 1

Puede Ocurrir que:

	No	Si
• La bomba de vacío VP-941 está funcionando incorrectamente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La válvula principal de vacío V-947 está actuando incorrectamente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La válvula de alimentación V-(G)40 presenta fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La válvula de venteo V-941 presenta fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ninguna de las anteriores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 74. Problema de Vacío 1

Sin embargo, cuando la presión en el sistema se alcanza en el tiempo estipulado, se procede a verificar el vacío, pero cuando el vacío sigue siendo insuficiente ocurre el otro problema, cuyas posibles causas se presentan en la figura 75.

Linde Gas   AGA	
<b>Problema de Vacío 2</b>	
Puede Ocurrir que:	No Si
• La bomba de vacío <b>VP-941</b> está funcionando incorrectamente	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
• La válvula de alimentación <b>V-(G)40</b> presenta fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
• La válvula de venteo <b>V-941</b> presenta fuga en el asiento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
• Ninguna de las anteriores	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Figura 75. Problema de vacío 2

#### ➤ *Esquemáticos Misceláneos*

Este tipo de esquemáticos presentan información clave a la cual el operador puede acceder en diferentes etapas del proceso. A continuación se presentan los modelos y las características de cada uno de los esquemáticos misceláneos desarrollados.

- *Set Points.* Los valores de presión y de tiempos establecidos en cada etapa del proceso están relacionados con la composición o calidad del producto final, por lo que dicha información debe estar disponible para los operadores del sistema. Esta configuración presenta la ventaja de poder acceder a esta información y modificarla sin tener que ingresar al programa del PLC. Sin embargo, para proteger el proceso y garantizar la seguridad se incluye una clave de acceso para poder modificar los valores establecidos.

Para el manejo de esta información se separaron los esquemáticos de set points de acuerdo a la información clave que presentan resultando dos tipos, uno para las presiones y otro para los tiempos.

A. Set Points de Presiones de llenado. En este esquemático se presentan los diferentes productos con las presiones asociadas. En la figura 76 se puede apreciar el modelo planteado, donde para el caso de los Gases Puros se presenta la presión final de llenado, mientras que para las mezclas se muestran las presiones finales a las cuales se debe cargar cada componente.

Producto	Presión Final (psig)	Presión parcial de CO2 (psig)	Presión final de Ar (psig)	Presión final de N2 (psig)
Gas Puro	2355	-	-	-
Mezcla AgaMix 22	-	44	2350	-
Mezcla Mapax 0050	-	725	-	1450
Mezcla Mapax 0030	-	600	-	2350
Mezcla Mapax 0080	-	720	-	900

Figura 76. Set Points de presiones de llenado

B. Set point de Tiempos. Muestra una relación presión tiempo establecida como crítica en cada una de las etapas del proceso. Estos tiempos críticos se establecieron para garantizar las etapas del proceso y evitar ciclos cerrados dentro del programa. Es importante señalar que estos tiempos fueron determinados en base a llenados en planta desarrollados en el Panel 901, por lo que pueden requerir variaciones al aplicarlos en el Panel 941 ya que, a pesar de mantenerse la configuración, son sistemas diferentes de allí la importancia de poder tener acceso a esta información.

Por la numerosa cantidad de tiempos involucrados en las diferentes etapas del proceso, se desarrollaron 2 de estos esquemáticos para el Panel 941, de las cuales uno es continuación del otro tal como se observa en las figuras 77 y 78. En ellos se evidencian un botón de modificar llamado “Modif.”, el cual va a desplegar una pantalla de solicitud de clave para poder acceder a los valores y realizar cambios en los mismos. Adicionalmente, en la parte inferior del modelo se presentan unos botones que permiten la interacción con otros esquemáticos.

**Set-Points de Tiempos**  
**Panel 941**

Linde Gas | AGA

Variable	Acción	Volumen	Etapas	Presión de referencia	Tiempo Crítico
t <sub>1</sub>	Presurización	Líneas Panel	Prueba de fuga	1100 psig	10 s
t <sub>2</sub>	Espera	Líneas Panel	Prueba de fuga	1 psig	30 s
t <sub>3</sub>	Venteo	Líneas Panel	Prueba de fuga y Purga	4 psig	15 s
t <sub>4</sub>	Venteo	Líneas Panel	Luego de Llenado y parada	1 psig	6 s
t <sub>5</sub>	Vacío	Líneas Panel	Purga	2 psia	9 s
t <sub>6</sub>	Vacío	Líneas Panel	Verificación del vacío	2 psia	5 s
t <sub>7</sub>	Vacío	Líneas Panel y Cilindros	Estabilización de vacío	N/A	5 s

Modif. Siguiete

Figura 77. Set Points de tiempos asociados al Panel 941, parte 1

**Set-Points de Tiempos**  
**Panel 941**

Linde Gas | AGA

Variable	Acción	Volumen	Etapas	Presión de referencia	Tiempo Crítico
t <sub>8</sub>	Espera	Cilindros	Estabilización de P para Despresurización	N/A	120 s
t <sub>9</sub>	Venteo	Cilindros	Despresurización	4 psig	84 s
t <sub>10</sub>	Vacío	Cilindros	Purga	2 psia	300 s
t <sub>11</sub>	Vacío	Cilindros	Verificación del vacío	2 psia	120 s
t <sub>12</sub>	Presurización	Cilindros	Purga	2 psig	14 s
t <sub>13</sub>	Presurización	Cilindros	Llenado	20 psi	60 s
t <sub>14</sub>	Presurización	Cilindros	Estabilización de P en llenado	Aumento de P	60 s
t <sub>15</sub>	Espera	Líneas Alimentación	Luego de encender bomba criogénica	Aumento de P	120 s

Modif. Salir

Figura 78. Set Points de tiempos asociados al Panel 941, parte 2

- **Gráficos.** Los gráficos son reportes visuales de la forma como se está desarrollando el llenado o tratamiento en cada panel, los mismos muestran la variación de la presión en función del tiempo de acuerdo a las diferentes etapas del proceso. A partir de estos reportes se pueden evidenciar posibles anomalías que pueden dar indicios de problemas o eventualidades.

Estos esquemáticos tienen la posibilidad de ver un gráfico a la vez o los cuatro de forma simultánea, es decir, de acuerdo a la necesidad de información, el operador podrá visualizar el proceso de un panel o de los cuatro paneles a la vez. En la parte inferior de la pantalla se presentan ciertos botones que permiten la interrelación de estos gráficos.

En tal sentido se presentan dos modelos para los esquemáticos que presentan los gráficos, los cuales se pueden apreciar en la figura 79 y 80.

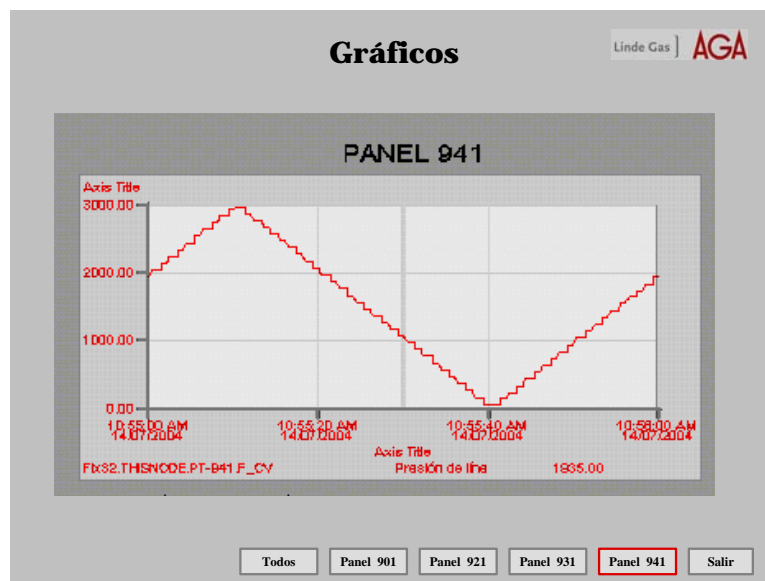


Figura 79. Gráfico por panel.

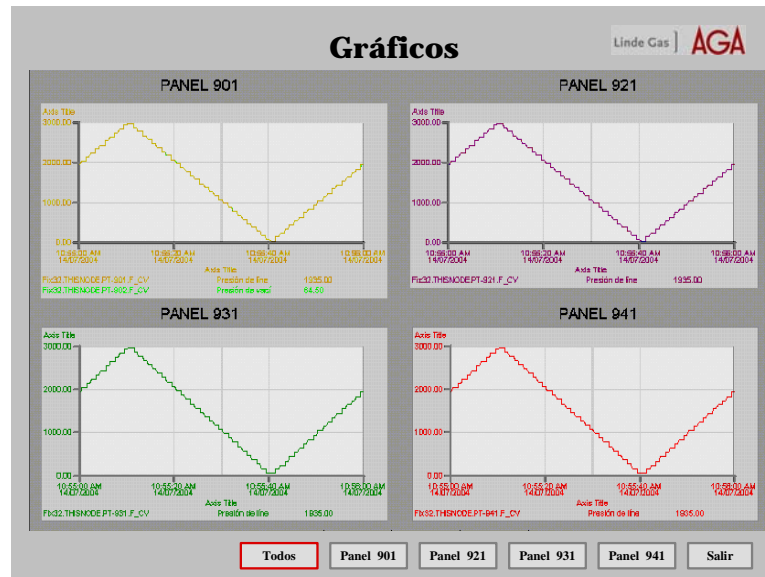


Figura 80. Gráficos de todos los paneles.

▪ *Código de equipos.* Los equipos principales asociados a los paneles de la planta son dos: las válvulas neumáticas y las bombas de vacío, los cuales son accionados automáticamente por el sistema. Para identificar el estado de operación en que se encuentran dichos equipos se estableció la siguiente convención de colores:

Verde: Activado (válvula abierta o bomba encendida)

Rojo: Desactivado (válvula cerrada o bomba apagada)

Adicional a los equipos accionados por el sistema, se encuentran otros instrumentos que pueden o no forman parte del sistema de control. De los equipos que poseen comunicación con el PLC se tiene los transmisores, mientras que el resto es instrumentación manual que está en los paneles y se representa en pantalla, pero que no posee relación alguna con el PLC.

Los símbolos gráficos empleados para representar a los diferentes equipos en los esquemáticos principales se muestran en la figura 81.





Figura 81. Código de Equipos.

- *Identificación de la instrumentación.* Cada uno de los instrumentos de la planta posee una identificación asociada al panel y a la línea de alimentación donde se encuentre, explicación desarrollada en este trabajo en los resultados de la etapa de diseño, específicamente en los DFP. Sin embargo, para el sistema automático se requirió dejar un registro de la identificación y descripción de los diferentes instrumentos de cada panel, por lo cual se generó este tipo de esquemático misceláneo.

Para dar una introducción al esquema de identificación empleado, se presenta una pantalla general que posee botones específicos para cada panel donde se muestra la información detallada. Es importante señalar que por la cantidad de información y de equipos se obtuvieron más de un esquemático de cada tipo.

En las figuras 82 y 83 se presentan los modelos de esquemáticos asociados a la información general de la identificación de la instrumentación.

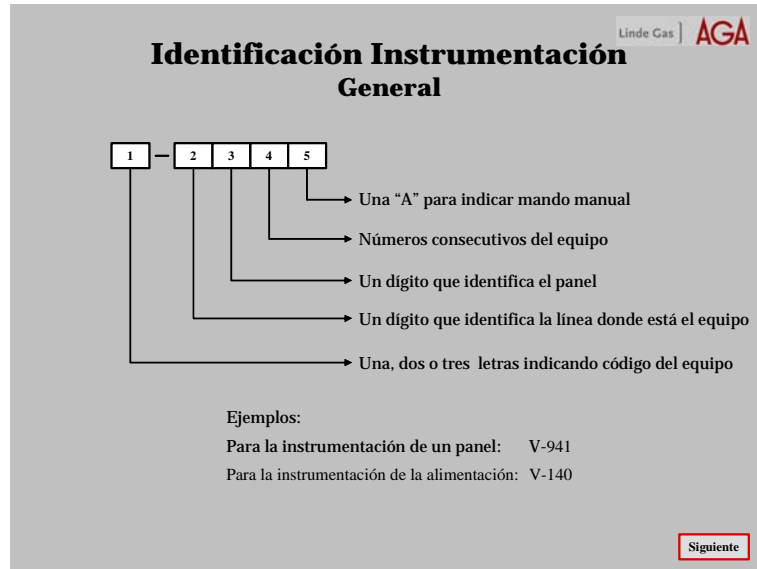


Figura 82. Esquema de la identificación de la instrumentación

**Identificación Instrumentación General**

Código de equipos	
V	Válvula
SV	Válvula de seguridad o alivio
CV	Válvula antirretorno
PR	Regulador de presión
SG	Selector de Gas
VP	Bomba de vacío
CP	Bomba criogénica
PT	Transmisor de presión
TT	Transmisor de temperatura
FT	Medidor de flujo másico
FI	Indicador de flujo
S	Araña de panel de llenado
CE	Cesta del panel de tratamiento
CO	Colector de la cesta al panel
HE	Intercambiador de calor de aletas
FAN	Ventilador
R	Resistencias

Identificación de la línea	
1	Línea de Nitrógeno
2	Línea de Argón
3	Línea de Oxígeno
4	Línea de Dióxido de Carbono
5	Línea de Helio
7	Línea del Multi punto
9	Líneas del Panel

Identificación del panel	
0	Panel 901
2	Panel 921
3	Panel 931
4	Panel 941

Panel 901 Panel 921 Panel 931 **Panel 941** Salir

Figura 83. Lista de códigos de la identificación de la instrumentación.

En la figura 84 y 85 se presentan los esquemáticos relacionados con la instrumentación propia del Panel 941, donde se muestra la identificación y descripción respectiva.

Linde Gas | AGA

### Identificación Instrumentación Panel 941

Identificación	Función
V-140A	Válvula manual de respaldo de alimentación de N <sub>2</sub>
V-240A	Válvula manual de respaldo de alimentación de Ar
V-440A	Válvula manual de respaldo de alimentación de CO <sub>2</sub>
V-540A	Válvula manual de respaldo de alimentación de He
V-740A	Válvula manual de respaldo de alimentación Mp
V-740V	Válvula manual de venteo del multipunto
V-941A	Válvula manual de respaldo de venteo
V-947A	Válvula manual de respaldo de vacío principal
V-948A	Válvula manual de alimentación de agua a la bomba
V-140	Válvula neumática de alimentación de N <sub>2</sub>
V-240	Válvula neumática de alimentación de Ar
V-440	Válvula neumática de alimentación de CO <sub>2</sub>
V-540	Válvula neumática de alimentación de He
V-740	Válvula neumática de alimentación del Mp

Siguiete

Figura 84. Identificación de la instrumentación del Panel 941, parte 1

Linde Gas | AGA

### Identificación Instrumentación Panel 941

Identificación	Función
V-941	Válvula neumática de venteo
V-942	Válvula neumática de alimentación araña izquierda
V-943	Válvula neumática de alimentación araña derecha
V-944	Válvula neumática de alimentación al laboratorio
V-945	Válvula neumática de vacío de la araña derecha
V-946	Válvula neumática de vacío de la araña izquierda
V-947	Válvula neumática de vacío principal
CV-941	Válvula antirretorno de la alimentación
SV-941	Válvula de seguridad de la bomba de vacío
PR-941	Regulador de presión de suministro al laboratorio
PT-941	Transmisor de presión principal
PT-942	Transmisor de presión de vacío
VP-941	Bomba de vacío

Salir

Figura 85. Identificación de la instrumentación del Panel 941, parte 2

- *Dirección de señales.* La identificación del cableado asociado a cada instrumento desde la planta hasta el panel de control requiere una cierta identificación, la cual está relacionada con las señales que se transfieren por dichos cables.

Este tipo de esquemáticos muestran la identificación de las señales desde la instrumentación del panel hasta el canal correspondiente en los módulos del PLC. El modelo desarrollado para el Panel 941 se muestra en la figura 86.

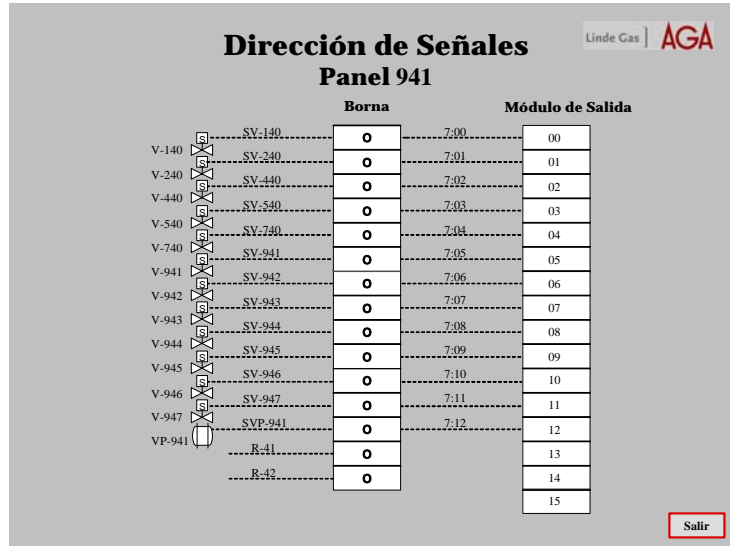


Figura 86. Dirección de Señales

- *Interrelación de Esquemáticos.* Como medio informativo se tiene la forma en que se relacionan las diferentes pantallas entre sí, lo cual permite orientar la operación de los mismos. En la figura 87 se presenta el esquemático de interrelación, el cual está basado en un organigrama.

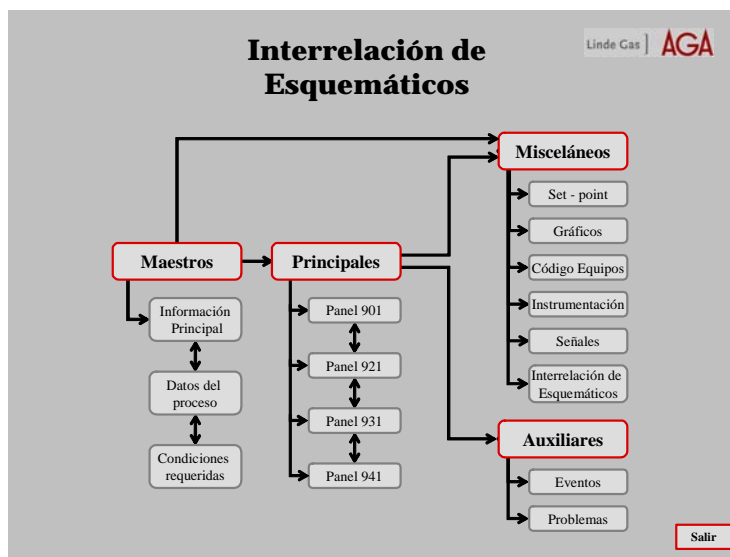


Figura 87. Interrelación de esquemáticos

**Simulación del proceso**

Para considerar finalizada la actualización del sistema de control para el Panel 941, se debe realizar la verificación del programa ya cargado en el PLC, paso que no pudo ser concretado durante esta Tesis por problemas de comunicación presentados entre el PLC y el computador, por lo que a continuación se describe la forma y herramientas necesarias para completar esta etapa una vez resuelto el problema.

Para la simulación del proceso se requiere el apoyo del personal de Proyectos de Automatización, junto a los cuales se debe verificar la coherencia de las entradas y salidas analógicas/digitales respecto a las señales generadas por dos equipos: el Transmatium que permitirá simular las señales eléctricas provenientes de los transmisores de presión y el Fluke 741 con el cual se van a verificar las señales neumáticas, equipos que en conjunto simularán el proceso y permitirán comprobar las condiciones y la secuencia de las instrucciones establecidas en los Protocolos de Prueba desarrollados en la etapa de Diseño.

Estas pruebas presentan la ventaja de verificar los pasos antes de que se complete el acople con la parte operativa, lo cual es de gran importancia para poder realizar modificaciones del programa evitando pérdidas de producto y garantizando tanto el estado de la instrumentación como la seguridad.

## ***PRUEBAS Y VERIFICACIÓN***

Debido a los retrasos en la entrega de algunos equipos y en el desarrollo de ciertas tareas, la etapa de implantación no pudo completarse, por lo que durante este Trabajo Especial de Grado no se desarrolló la etapa de Pruebas y Verificación. Sin embargo, queda como resultado de esta tesis los formatos y pasos que deben seguirse para que, una vez completada la etapa de implantación con las simulaciones respectivas, se desarrollen las pruebas que permitirán comprobar el trabajo desarrollado, culminando así el proyecto de automatización para el Panel 941.

Esta etapa debe realizarse en dos fases: en la primera fase se debe verificar la operatividad de la instrumentación y el cumplimiento de la secuencia de pasos establecida, mientras que en la segunda se busca comprobar los parámetros de presión y tiempo planteados a fin de garantizar el producto final.

Ambas fases requieren la realización de llenados de cilindros en planta con los diferentes productos que se consideraron en el Panel 941, los cuales son: Nitrógeno AP, Nitrógeno UAP, Argón AP, Argón UAP, Argón Espectrometría, Agamix 22, Mapax 0030, Mapax 0050 y Mapax 0080. Por lo que se deberá solicitar al Departamento de Distribución Cilindro el acondicionamiento de varios cilindros para cada uno de los productos antes nombrados.

Para las pruebas asociadas a la primera fase se distribuirán las tareas de acuerdo al área involucrada en la actividad, encargando a una persona la observación de la instrumentación en planta y la confirmación simultánea a través de radio de cada paso desarrollado con otra persona que estará encargada de dirigir el proceso en el computador. Todo esto teniendo presente el cumplimiento de las normas de seguridad tales como el uso de zapatos y lentes de protección.

Durante esta verificación se emplearán los Protocolos de Prueba desarrollados para las simulaciones de la etapa de Implantación, las cuales son listas de chequeo que permitirán llevar un registro del cumplimiento satisfactorio o insatisfactorio de la instrumentación de acuerdo a cada paso establecido en el programa y reflejado en el computador, de esta manera se podrá identificar si existen acoples o conexiones defectuosas entre el controlador y los equipos operativos del sistema.

Para el desarrollo de la segunda fase requerida en esta etapa, se deberán realizar llenados con el objetivo de verificar la calidad y composición de los productos finales. Es por esto que se deberá empezar por pruebas pequeñas, donde se llene un cilindro a la vez a fin de no tener muchas pérdidas, pero las pruebas deberán repetirse bajo las mismas condiciones hasta completar una muestra representativa que permita tomar decisiones sobre los set-points del programa de funcionamiento.

De este modo una vez comprobada que los productos cumplen con los parámetros de tolerancia requeridos, se deberán realizar pruebas mayores donde se obtengan lotes de un producto, lo que permitirá comprobar de manera simultánea la calidad y los tiempos requeridos en cada etapa del proceso.

Finalmente, durante el desarrollo de esta etapa final se realizará la inducción al personal de planta, quienes recibirán el adiestramiento necesario para la operación y el monitoreo de cada proceso a través del computador. Simultáneamente, los operadores podrán dar su opinión, sugerencias y observaciones de la operatividad de los sistemas de acuerdo a su experiencia.

---

***CAPITULO V***  
***CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y***  
***BIBLIOGRAFÍA***



## ***CONCLUSIONES***

- El diagnóstico de la instrumentación de los paneles y los seguimientos de los procesos permitieron identificar los acondicionamientos requeridos en cada sistema.
- La actualización de los DFP y el desarrollo de los DTI de los paneles permiten tener disponible información necesaria para futuras evaluaciones, modificaciones e instalaciones en estos sistemas.
- La organización de la información del desarrollo del proceso en forma esquemática a través de los DLF en conjunto con los protocolos de pruebas, facilitan la comprensión del funcionamiento del Panel 941, lo cual se evidenció con el personal encargado de la programación.
- Realizar un adecuado y constante mantenimiento preventivo en los paneles garantizan la correcta operación de los mismos, condición indispensable para la operación automática de la planta.
- El mantenimiento de las bombas de vacío de sello hidráulico permitió determinar el vacío mínimo alcanzado en los sistemas.
- La sustitución de los sellos mecánicos en las líneas de venteo fija los niveles de ruido de la planta dentro de los valores adecuados para la seguridad de los operadores.
- Disponer de transmisores de presión calibrados en la planta es fundamental para la operación automática, ya que la presión es la variable controlada del proceso.
- La instalación del sistema de suministro de dióxido de carbono permite agilizar el llenado de las mezclas con este gas, evidenciándose una reducción del 67% en el tiempo del llenado de mezclas Mapax 7030.

- La mejora del diseño de las arañas de los paneles de llenado aumenta el tiempo de vida útil de los flexibles, ya que los mismos estarán sometidos a menores esfuerzos.
- La reactivación del Panel 941 permite agilizar el llenado de argón y nitrógeno, así como las mezclas Mapax y Agamix, las cuales actualmente poseen una demanda en crecimiento y sólo se realizan en los Paneles 901 y 931.
- El empleo de la Máquina Orbital de Soldadura TIG y el uso de instrumentación de acero inoxidable, es de gran importancia para garantizar la calidad del producto final ofrecida en los Gases Especiales.
- La revisión del cableado de la planta y la correspondiente actualización de la identificación del mismo, permite garantizar continuidad de las señales y establecer un orden con respecto al cableado correspondiente a cada panel.
- El diseño de los esquemáticos para la interacción hombre máquina permite organizar y proporcionar la información necesaria para el desarrollo de los procesos a los técnicos de planta.

## ***RECOMENDACIONES***

- Implementar las propuestas generales y específicas que se presentan en la etapa de Especificación de este trabajo.
- Actualizar la señalización de toda la planta, de acuerdo a los DFP desarrollados con materiales resistentes a la intemperie.
- Incluir en el sistema que lleva el registro de los mantenimientos de la planta los nuevos formatos de la Órdenes de servicio, para garantizar la correcta evaluación y el buen estado de la instrumentación y equipos de los pánenes.
- Seguir las instrucciones planteadas para completar los trabajos de verificación, ajuste y calibración de los transmisores de presión iniciada en este Trabajo Especial de Grado.
- Completar la reactivación del Panel 941 mediante las instrucciones especificadas, bajo la debida supervisión y el apoyo del personal técnico requerido.
- Simular el llenado de los gases puros y mezclas desarrollados para el Panel 941, para verificar cada paso de dichos procesos mediante los Protocolos de Pruebas generado durante este trabajo.
- Realizar las pruebas y verificación de la actuación de los instrumentos y equipos durante la operación del Panel 941, con el nuevo sistema de control, para garantizar cada etapa del llenado y la calidad del producto final, siguiendo las pautas planteadas y empleando los Protocolos de Pruebas.
- Diversificar los productos obtenidos en el Panel 941 mediante la reactivación de la línea multipunto, para lo cual se deberán complementar los protocolos de Pruebas que permitan realizar las verificaciones asociadas a la operación del panel para la obtención de estos productos.

- Continuar con el proyecto para completar la Automatización de la Planta de Gases Especiales, con el apoyo del personal requerido para el desarrollo de los programas correspondientes y la supervisión del cumplimiento de los procedimientos planificados para actualizar el sistema de control del Panel 941.
- Incluir dentro de este nuevo sistema de control el resto de los paneles por etapas, una vez reactivado el Panel 941, para afectar al mínimo la productividad de la planta, de acuerdo al siguiente orden: 1) Panel 901; 2) Panel 921 y por último el Panel 931.

## ***BIBLIOGRAFÍA***

### ***Referencias Bibliográficas***

CASTRO, J. (1999). Tutorial de Diseño Estructurado de Algoritmos. [Trabajo en Línea]  
[http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/algoritmos/tema\\_51.htm](http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/algoritmos/tema_51.htm) [Consulta: 2004,  
Septiembre 12]

COLLEGEPARK. (2003). Interpretación de los Diagramas y Lazos de Control [Trabajo en  
Línea] <http://www.monografiass.com/monografiass/EpyAVFZAVAlIzCxPlg.php>  
[Consulta: 2004, Febrero 11]

CREUS, A. (1979). Instrumentación Industrial. México: Publicaciones Marcombo.

D'SOUSA, C. (2003). Sistemas de Control. [Documento en Línea]. Disponible:  
<http://www.monografias.com/trabajos11/sisco/sisco.shtml> [Consulta: 2004,  
Febrero 11]

FOUCHER, C. (2003, Mayo). Automatización con Autómatas Programables (PLC). Curso  
de extensión de Conocimientos, Instituto Tecnológico Ciudad Universitaria, Caracas.

GEFANUC. (1997). [Página Web en línea]. Disponible:  
[http://www.gefanuautomation.com/products/interllution\\_dynamics/ifix/default.asp](http://www.gefanuautomation.com/products/interllution_dynamics/ifix/default.asp)  
[Consulta: 2004, Febrero 24]

GONZÁLEZ, A. (2001). Controladores Lógicos Programables PLC`s. [Trabajo en Línea]  
<http://html.rincondelvago.com/controladores-logicos-programables.html> [Consulta:  
2004, Febrero 11]

HERNÁNDEZ, H. (2003, Noviembre). Propuestas de Mejoras al realizar la Evaluación del Funcionamiento del Panel 901 para el llenado de cilindros de Gases Especiales de la Empresa Linde Gas AGA. Trabajo de pasantía, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

OGATA, K. (1993). Ingeniería de Control Moderna. México: Prentice Hall.

RODRÍGUEZ, J. (2002). Automatización Industrial. [Resumen en Línea]. Disponible: <http://www.dea.icaei.upco.es/jarm/asignaturas/PLC/intro/index.htm> [Consulta: 2004, Febrero 11]

RODRÍGUEZ, J. (2003, Noviembre). Evaluación y Planteamiento de Mejoras del Panel 921 y del Proceso de Tratamiento de Cilindros desarrollado en el Horno de la Planta de Gases Especiales de la Empresa AGA Miembro del Grupo Linde Gas. Trabajo de pasantía, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

SALCEDO, E. (S/A). Apuntes para la Clase de Multimedia. [Trabajo en Línea] <http://www.mor.itesm.mx/~lssalced/estruc.html> [Consulta: 2004, Septiembre 12]

### ***Bibliografía Consultada***

PEQUIVEN, U.N. Olefinas y Plásticos. (1991). Documentación y Criterios de Configuración Base de Datos Proyecto de Automatización. Zulia: BLANCO, B.

PEQUIVEN, Servicios Industriales. (S/A). Manual de Facilidades del Sistema.

---

***CAPITULO VI***  
***ANEXOS***

---

*Anexo A. Pasos del Proceso de Tratamiento – Panel 921*

---



Los pasos que se deben seguir para completar un proceso de tratamiento de los cilindros en el Panel 921 son:

### ***1. Montaje***

El procedimiento que debe desarrollar el operador para iniciar el proceso de tratamiento se presenta a continuación:

- 1.1. Se colocan los cilindros a tratar con sus válvulas cerradas en la cesta.
- 1.2. Se conecta colector del horno a la cesta.
- 1.3. Se conectan los flexibles de la cesta a los cilindros.
- 1.4. Se abre la válvula de alimentación a la cesta, V925.
- 1.5. Se abre la válvula de venteo, V923.
- 1.6. Se abren las válvulas de los cilindros uno a uno para eliminar el gas remanente que se encuentre contenido en los mismos. Esto debe realizarse con cuidado para evitar presiones superiores a la de operación del sistema, la cual es 75 psia.
- 1.7. Ventear hasta 4 psig (15 psia) monitoreando el PT-921
- 1.8. Una vez despresurizados todos los cilindros, se deben cerrar sus válvulas dejando la válvula V925 abierta.
- 1.9. Se conecta el selector de Gas SG-921 a la línea del gas a emplear.

### ***2. Tratamiento***

Una vez completada la conexión entre los cilindros y el sistema se da inicio al proceso de tratamiento, el cual está constituido por tres etapas: preparación del sistema, calentamiento y purga de los cilindros. En la preparación del sistema se realiza la prueba de fuga y se completa el montaje al introducir la cesta en el horno y cerrar las puertas del mismo.

Seguidamente, se inician las etapas de calentamiento y purga de forma simultánea, donde se busca disminuir la humedad de los cilindros al elevar la temperatura del sistema y realizar ciclos de purga con gas inerte.

## 2.1. Preparación del sistema:

- 2.1.1. Se abre la válvula principal del sistema V-921.
- 2.1.2. Se enciende la bomba de vacío VP-921.
- 2.1.3. Se abre la válvula de vacío V-922.
- 2.1.4. Se monitorea la presión hasta alcanzar 2 psia en el PT-921.
- 2.1.5. Se cierra la válvula de vacío V-922.
- 2.1.6. Se apaga la bomba de vacío VP-921.
- 2.1.7. Se abre la válvula de alimentación del gas a emplear: V-120 para N<sub>2</sub> o V-220 para Ar.
- 2.1.8. Se presurizan las líneas del panel hasta 75 psia monitoreando PT-921.
- 2.1.9. Se cierra la válvula principal del sistema V-921.
- 2.1.10. Se monitorea la presión por 30 segundos para detectar fugas en el sistema.
  - 2.1.10.1. En caso que la presión varíe más de 2 psia: Fuga Detectada
    - A. Se procede a detectar fuga manualmente rociando snoop (solución jabonosa) en las conexiones, los vástagos de las válvulas y los flexibles.
    - B. Despresurizar el sistema abriendo la válvula de venteo V-923.
    - C. Corregir la fuga
    - D. Cerrar la válvula de venteo V-923
    - E. Volver al paso 2.1.7. para repetir la prueba de fuga
  - 2.1.10.2. En caso que la presión se mantenga en el sistema: No hay fuga
    - A. Continuar el proceso en el paso 2.1.11.
- 2.1.11. Seguidamente se deben abrir las válvulas de los cilindros, colocar la cesta en el horno y cerrar las puertas del mismo.

## 2.2. Calentamiento

- 2.2.1. Al finalizar la etapa de preparación del sistema, se enciende el ventilador FAN-921
- 2.2.2. Se encienden las resistencias R-921 y R-922
- 2.2.3. Se monitorea la temperatura del aire en el interior del horno a través de la termocupla TT-921, la cual se debe mantener cerca de los 130 °C.

- 2.2.3.1. En caso que la temperatura del sistema se eleve por encima de los 135 °C se procede a pagar una de las resistencias.
- 2.2.3.2. En caso que la temperatura del aire disminuya los 125 °C se debe encender una de las resistencias.
- 2.2.4. Repetir el paso 2.2.3. durante el proceso de purga de los cilindros.
- 2.2.5. Una vez finalizada la purga de los cilindros se procede a apagar las resistencias R-921 y/o R-922.
- 2.2.6. Apagar el ventilador, FAN-921

### 2.3. Purga de los cilindros

- 2.3.1. Se inicia el ciclo cero de la purga de los cilindros, para el cual se deben seguir los siguientes pasos:

#### 2.3.1.1. Venteo

- A. Abrir la válvula de Venteo V-923.
- B. Ventear monitoreando el PT-921 hasta alcanzar 4 psig (19 psia)
- C. Cerrar la válvula de venteo V-923.

#### 2.3.1.2. Vacío

- A. Encender la bomba de vacío VP-921.
- B. Abrir la válvula de vacío V-922.
- C. Monitorear la presión hasta alcanzar 2 psia en el PT-921.
- D. Esperar 30 minutos mientras se realiza vacío en el sistema.
- E. Cerrar la válvula de vacío V-922.
- F. Se apaga la bomba de vacío VP-921.

#### 2.3.1.3. Presurización.

- A. Abrir la válvula de alimentación del gas de purga seleccionado.
- B. Presurizar hasta 75 psia monitoreando el PT-921.
- C. Cerrar la válvula de alimentación.

#### 2.3.1.4. Espera

- A. Esperar 5 minutos con el sistema presurizado para favorecer el paso de las impurezas al gas de purga.

- 2.3.2. Para continuar con el tratamiento se deben seguir los siguientes pasos:

- 2.3.2.1. Venteo
  - A. Repetir los pasos contemplados en el punto 2.3.1.1.
- 2.3.2.2. Vacío
  - A. Encender la bomba de vacío VP-921.
  - B. Abrir la válvula de vacío V-922.
  - C. Monitorear la presión hasta alcanzar 2 psia en el PT-921.
  - D. Cerrar la válvula de vacío V-922.
  - E. Se apaga la bomba de vacío VP-921.
- 2.3.2.3. Presurización.
  - A. Repetir los pasos contemplados en el punto 2.3.1.3.
- 2.3.2.4. Espera
  - A. Esperar 5 minutos con el sistema presurizado para favorecer el paso de las impurezas al gas de purga.
- 2.3.3. Se deben repetir los pasos anteriores 2 veces más, hasta completar los 3 ciclos de purga requeridos.
- 2.3.4. Una vez finalizado el ciclo 3 de las purgas de los cilindros, se debe realizar el análisis de laboratorio, por lo que se debe abrir la válvula V-924 y se envía una muestra del último gas de purga al laboratorio.
- 2.3.5. Finalizado el análisis del laboratorio se cierra la válvula V-924.

### ***3. Desmontaje***

Con la etapa de desmontaje se finaliza el proceso desarrollado en el panel 921 y para lo cual se requiere seguir los siguientes pasos:

- 3.1. Abrir las puertas del horno.
- 3.2. Retirar la cesta de la parte interna del horno.
- 3.3. Cerrar la válvula manual de la cesta V-925.
- 3.4. Desacoplar el colector de la cesta
- 3.5. Colocar la cesta en el patio y esperar que los cilindros se enfríe. Es importante dejar que disminuya la temperatura de los cilindros antes de cerrar sus válvulas, para evitar que se dañen los asientos.

- 3.6. Una vez que la temperatura de los cilindros ha descendido, se procede a cerrar las válvulas de los mismos.
- 3.7. Desconectar los flexibles de los cilindros.
- 3.8. Retirar los cilindros de la cesta y colocarlos en una paleta, para posteriormente llevarlos a los páneles de llenado.

---

***Anexo B. Pasos del Proceso de Llenado – Páneles 901, 931 y 941***

---

Para la obtención de un gas puro o de una mezcla en los Páneles de llenado 901, 931 o 941 se deben seguir los pasos que se listan a continuación:

### ***1. Montaje***

A diferencia del montaje que se lleva a cabo para el proceso de tratamiento, esta etapa para el llenado es más sencilla ya que se lleva a cabo en las mismas paletas donde vienen los cilindros. Los pasos a seguir son:

- 1.1. Se coloca la paleta con los cilindros a llenar bajo la araña.
- 1.2. Se debe verificar que los cilindros tengan sus válvulas cerradas.
- 1.3. Se conectan los flexibles de la araña a los cilindros
- 1.4. Se conecta el selector de gas SG-941 en la línea del gas a alimentar

### ***2. Llenado***

En los Páneles 901, 931 y 941 se emplea el método de presiones parciales para el llenado de Gases Puros o de Mezclas. Cada uno de estos llenados implica una secuencia de pasos diferentes que se exponen a continuación, tomando como ejemplo el Panel 941.

Previo al desarrollo del llenado se debe realizar el acondicionamiento de las líneas del panel y luego de los cilindros, lo que permite garantizar la pureza requerida. Según la calidad del gas a obtener se debe hacer un número distinto de ciclos de purga, los cuales consisten en realizar barridos con el gas a emplear, presurizando y haciendo vacío, con la finalidad de arrastrar las impurezas. Para el caso de las mezclas se ha establecido 2 ciclos de purga que, en general, se realizan con el balance de la mezcla.

#### **2.1. Acondicionamiento de las líneas del panel y de los Cilindros.**

- 2.1.1. Se selecciona la araña a emplear en el proceso.
- 2.1.2. Se abren las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943, según sea el caso.
- 2.1.3. Se abre la válvula de alimentación correspondiente: V-140 para N<sub>2</sub>, V-240 para Ar, V-440 para CO<sub>2</sub>, V-540 para He y V-740 para el Multipunto. Debe verificarse que la válvula manual correspondiente esté abierta.

- 2.1.4. Presurizar las líneas del panel hasta 1100 psig, monitoreando PT-941
- 2.1.5. Se cierra la válvula de alimentación.
- 2.1.6. Se monitorea la presión por 30 segundos para detectar fugas en el sistema.
  - 2.1.6.1. En caso que la presión varíe más de 1 psi: Fuga Detectada
    - A. Se procede a detectar fuga manualmente rociando snoop (solución jabonosa) en las conexiones, los vástagos de las válvulas y los flexibles.
    - B. Se procede a detectar fuga manualmente rociando snoop (solución jabonosa) en las conexiones, los vástagos de las válvulas y los flexibles.
    - C. Despresurizar el sistema abriendo la válvula de venteo V-941.
    - D. Corregir la fuga
    - E. Cerrar la válvula de venteo V-941
    - F. Volver al paso 2.1.3. para repetir la prueba de fuga
  - 2.1.6.2. En caso que la presión se mantenga en el sistema: No hay fuga
    - A. Continuar el proceso en el paso 2.1.7.
- 2.1.7. Abrir la válvula de venteo V-941
- 2.1.8. Ventear el sistema hasta que el PT-941 indique 4 psig (19 psia)
- 2.1.9. Se cierra la válvula de venteo V-941.
- 2.1.10. Vacío: se realiza el Ciclo Cero de la purga de las líneas. Este proceso dura aproximadamente 9 segundos.
  - 2.1.10.1. Se enciende la bomba de vacío VP-941.
  - 2.1.10.2. Se abre la válvula principal de vacío V-947.
  - 2.1.10.3. Se abren las válvulas de vacío de las arañas V-945 y/o V-946.
  - 2.1.10.4. Se monitorea la presión en PT-942 hasta alcanzar 2 psia
  - 2.1.10.5. Se cierra la válvula principal de vacío V-947.
  - 2.1.10.6. Se verifica el vacío en el PT-942, el cual debe reportar 2 psia
    - 2.1.10.6.1. En caso que no se haya alcanzado 2 psia en el PT-942
      - A. Abrir la válvula principal de vacío V-947.
      - B. Monitorear el PT-942 hasta alcanzar 2 psia



C. Cerrar la válvula principal de vacío V-947

2.1.10.6.2. En caso de alcanzar 2 psia

A. Continuar el proceso en 2.1.10.7.

2.1.10.7. Se cierran las válvulas de vacío de las arañas V-945 y/o V-946.

2.1.10.8. Se apaga la bomba de vacío, VP-941

2.1.11. Se procede a purgar las líneas, repitiendo los pasos siguientes tantas veces como lo indique la calidad del gas a llenar:

2.1.11.1. Presurización: Este proceso es inmediato debido a que el volumen de las líneas del panel es pequeño, por lo que los pasos siguientes deben realizarse rápidamente.

A. Abrir la válvula de alimentación correspondiente

B. Cerrar la válvula de alimentación

2.1.11.2. Venteo: Este proceso dura aproximadamente 15 segundos.

A. Abrir la válvula de venteo V-941

B. Ventear hasta alcanzar 4 psig (19 psia) en el PT-941

C. Cerrar V-941

2.1.11.3. Vacío: Este proceso dura aproximadamente 9 segundos.

A. Se repiten los pasos del 2.1.10.1. al 2.1.10.8.

2.1.12. Después del último ciclo de purga de las líneas se procede a despresurizar el remanente, por lo que se debe:

2.1.12.1. Abrir la válvula de los cilindros.

2.1.12.2. Verificar presión del remanente en el PT-941

2.1.12.2.1. En caso que la presión sea mayor a 4 psig (19 psia)

A. Abrir la válvula de Venteo V-941

B. Ventear hasta que el PT-941 reporte 4 psig (19 psia)

C. Cerrar V-941

2.1.12.2.2. En caso que la presión sea menor o igual a 4 psig (19 psia)

A. Continuar el proceso en 2.1.13.

2.1.13. Vacío: se realiza el Ciclo Cero de la purga de los cilindros. Este proceso dura aproximadamente 5 minutos (300 segundos.)

2.1.13.1. Se repiten los pasos del 2.1.10.1. al 2.1.10.8.

2.1.14. Se purgan los cilindros, repitiendo los pasos siguientes tantas veces como lo indique la calidad del gas a llenar:

2.1.14.1. Presurización: Este proceso dura aproximadamente 14 segundos.

- A. Abrir la válvula de alimentación correspondiente.
- B. Presurizar hasta alcanzar 2 psig (17 psia) en el PT-941.
- C. Cerrar la válvula de alimentación.

2.1.14.2. Vacío: Este proceso dura cerca de 5 minutos (300 segundos).

- A. Se repiten los pasos del 2.1.10.1. al 2.1.10.8.

## 2.2. Llenado de un Gas Puro

En caso de llenar un gas puro, al terminar el último ciclo de purga de los cilindros se inicia directamente el trasegado de la materia prima siguiendo los siguientes pasos:

2.2.1. Abrir la válvula de alimentación correspondiente: V-140 para N<sub>2</sub>, V-240 para Ar, V-440 para CO<sub>2</sub>, V-540 para He y V-740 para el Multipunto.

2.2.2. Monitorear hasta alcanzar 2355 psig en el PT-941.

2.2.2.1. En caso de observarse una estabilización de presión:

- A. Encender la bomba criogénica del gas que se está llenando.
- B. Abrir la válvula de suministro de la materia prima hacia a Gases Especiales.

2.2.3. Cerrar la válvula de alimentación.

## 2.3. Llenado de una Mezcla

Cuando se va a llenar una mezcla, una vez que se culmina el segundo ciclo de purga, se deben seguir una serie de pasos que van a depender del orden en que son cargados los diferentes componentes en los cilindros, por lo que se presentan dos casos, los cuales se exponen a continuación:

2.3.1. Para las mezclas donde el primer gas a introducir no es el gas empleado en el acondicionamiento de los cilindros, se deben seguir los siguientes pasos:

2.3.1.1. Cerrar las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943

2.3.1.2. Abrir la válvula de venteo V-941

- 2.3.1.3. Ventear hasta 1 psig (15 psia) monitoreando el PT-941.
- 2.3.1.4. Cerrar la válvula de venteo V-941
- 2.3.1.5. Cambiar el Selector de Gas SG-941 a la posición del gas a introducir.  
Para esta operación verifique que el sistema no posee presión.
- 2.3.1.6. Purga de las líneas con el gas a introducir:
  - 2.3.1.6.1. Presurización: Este proceso es inmediato debido a que el volumen de las líneas del panel es pequeño, por lo que los pasos siguientes deben realizarse rápidamente.
    - A. Abrir la válvula de alimentación correspondiente
    - B. Cerrar la válvula de alimentación.
  - 2.3.1.6.2. Venteo: Este proceso dura aproximadamente 15 segundos
    - A. Abrir la válvula de venteo V-941
    - B. Ventear hasta alcanzar 4 psig (19 psia) en el PT-941
    - C. Cerrar V-941
  - 2.3.1.6.3. Vacío: Este proceso dura aproximadamente 9 segundos.
    - A. Se repiten los pasos del 2.1.10.1. al 2.1.10.8.
- 2.3.1.7. Abrir las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943.
- 2.3.1.8. Abrir la válvula de alimentación
- 2.3.1.9. Presurizar, monitoreando el PT-941 hasta alcanzar la presión intermedia requerida. Se entiende como presión intermedia requerida la presión del sistema más la presión parcial a introducir.
- 2.3.1.10. Cerrar la válvula de alimentación.
- 2.3.1.11. Para introducir los demás componentes que conforman la mezcla se deben repetir los pasos del 2.3.1.1 al 2.3.1.10.
- 2.3.2. En caso que la mezcla a llenar amerite introducir primero el gas empleado en el acondicionamiento de los cilindros, los pasos a seguir son:
  - 2.3.2.1. Abrir la válvula de alimentación correspondiente: V-140 para N<sub>2</sub>, V-240 para Ar, V-440 para CO<sub>2</sub>, V-540 para He y V-740 para el Multipunto.
  - 2.3.2.2. Presurizar hasta alcanzar la presión parcial del gas que se está inyectando.

- 2.3.2.3. Cerrar la válvula de alimentación.
- 2.3.2.4. Cerrar las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943
- 2.3.2.5. Abrir la válvula de venteo V-941
- 2.3.2.6. Ventear las líneas del panel hasta que en PT-941 se reporten 1 psig (15 psia)
- 2.3.2.7. Cerrar la válvula de venteo V-941
- 2.3.2.8. Cambiar el Selector de Gas SG-941 a la posición del gas a introducir. Para esta operación verifique que el sistema no posee presión.
- 2.3.2.9. Purga de las líneas con el gas a introducir:
  - 2.3.2.9.1. Presurización: Este proceso es inmediato debido a que el volumen de las líneas del panel es pequeño, por lo que los pasos siguientes deben realizarse rápidamente.
    - A. Abrir la válvula de alimentación correspondiente
    - B. Cerrar la válvula de alimentación.
  - 2.3.2.9.2. Venteo: Este proceso dura aproximadamente 15 segundos.
    - A. Abrir la válvula de venteo V-941
    - B. Ventear hasta alcanzar 4 psig (19 psia) en el PT-941
    - C. Cerrar V-941
  - 2.3.2.9.3. Vacío: Este proceso dura aproximadamente 9 segundos.
    - A. Se repiten los pasos del 2.1.10.1. al 2.1.10.8.
- 2.3.2.10. Abrir las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943.
- 2.3.2.11. Abrir la válvula de alimentación
- 2.3.2.12. Presurizar, monitoreando el PT-941 hasta alcanzar la presión intermedia requerida. Se entiende como presión intermedia requerida la presión del sistema más la presión parcial a introducir.
- 2.3.2.13. Cerrar la válvula de alimentación.
- 2.3.2.14. Para introducir los demás componentes que conforman la mezcla se deben repetir los pasos del 2.3.2.4. al 2.3.2.13.

### ***3. Desmontaje***

Una vez completado el producto, tanto la mezcla como el gas puro, se procede al desmontaje en el cual se realizan los siguientes pasos:

- 3.1. Se cierran las válvulas de todos los cilindros.
- 3.2. Se abre la válvula de venteo V-941.
- 3.3. Se ventea hasta alcanzar 1 psig (15 psia) en el PT-941.
- 3.4. Se cierra la válvula de venteo V-941.
- 3.5. Se cierran las válvulas de las arañas V-942 y/o V-943.
- 3.6. Se desconectan los flexibles de los cilindros.
- 3.7. Se procede a trasladar un cilindro de cada paleta al laboratorio para certificar el producto.

---

*Anexo C. Seguimiento de un Llenado de Argón  
Espectrometría en el Panel 901*

---

**Tabla. C-1. Proceso de Vacío**

Etapa	Presión (psi)		Tiempo (min)	
	Desde	Hasta	Acumulado	Neto
Purga Líneas	13	0	***	0.07
	20	0	***	0.09
	18	0	***	0.08
	21	0	***	0.06
	21	0	***	0.09
Purga Cilindros	20	10	0.31	0.31
	10	8	0.46	0.15
	8	6	0.75	0.29
	6	4	1.27	0.52
	4	2	1.62	0.35
	2	1	2.62	1.00
	1	0	<b>3.28</b>	0.66
	21	10	0.37	0.37
	10	8	0.57	0.20
	8	6	0.89	0.32
	6	4	1.30	0.41
	4	2	1.75	0.45
	2	1	2.60	0.85
	1	0	<b>3.37</b>	0.77
	21	10	0.30	0.30
	10	8	0.42	0.12
	8	6	0.75	0.33
	6	4	1.28	0.53
	4	2	1.58	0.30
	2	1	2.67	1.09
	1	0	<b>3.25</b>	0.58
	21	10	0.34	0.34
	10	8	0.48	0.14
	8	6	0.78	0.30
	6	4	1.32	0.54
	4	2	1.60	0.28
	2	1	2.63	1.03
	1	0	<b>3.25</b>	0.62
	21	10	0.38	0.38
	10	8	0.50	0.12
	8	6	0.87	0.37
	6	4	1.37	0.50
	4	2	1.70	0.33
	2	1	2.60	0.90
	1	0	<b>3.37</b>	0.77

**Tabla. C-2. Proceso de Venteo**

Etapa	Presión (psi)		Tiempo (min)	
	Desde	Hasta	Acumulado	Neto
Purga Líneas	663	20	***	0.17
	666	20	***	0.18
	882	20	***	0.18
	665	21	***	0.17
Remanente	220	200	0.48	0.48
	200	180	1.48	1.00
	180	160	2.70	1.22
	160	140	4.17	1.47
	140	120	5.85	1.68
	120	100	7.68	1.83
	100	80	10.12	2.44
	80	60	13.93	3.81
	60	40	17.72	3.79
	40	30	20.63	2.91
	30	20	<b>25.53</b>	4.90

**Tabla. C-3. Proceso de Presurización para Purga**

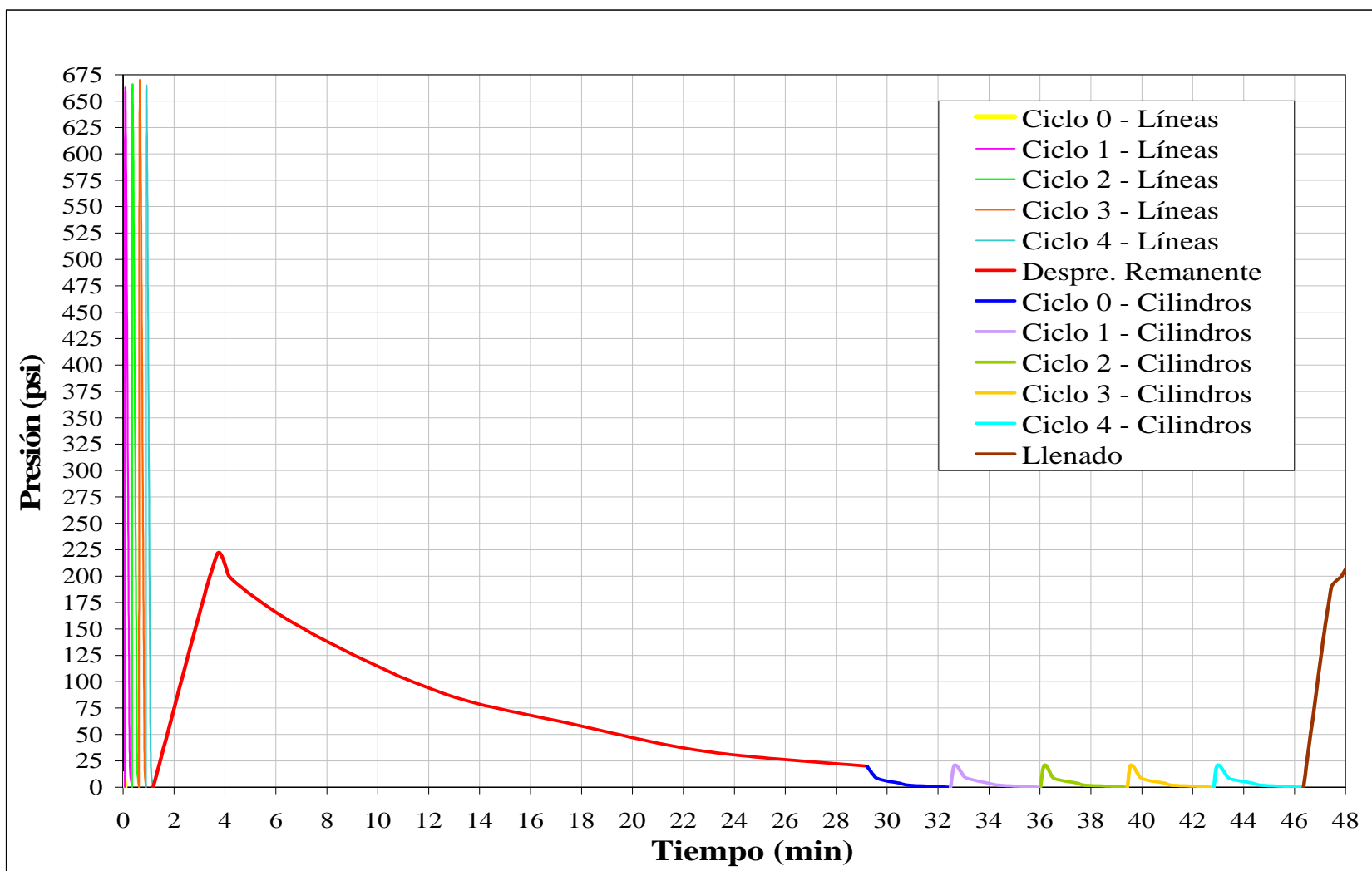
Etapa	Presión (psi)		Tiempo (min)	
	Desde	Hasta	Acumulado	Neto
Purga Líneas	0	663	***	0.02
	0	666	***	0.02
	0	882	***	0.03
	0	665	***	0.02
Purga Cilindros	0	21	***	0.16
	0	21	***	0.16
	0	21	***	0.14
	0	21	***	0.16



**Tabla. C-3. Proceso de Llenado**

Etapa	Presión (psi)		Tiempo (min)	
	Desde	Hasta	Acumulado	Neto
Llenado	0	188	1.08	1.08
	188	200	1.50	0.42
	200	250	2.58	1.08
	250	300	3.73	1.15
	300	350	4.43	0.70
	350	400	5.30	0.87
	400	450	6.18	0.88
	450	500	7.07	0.89
	500	550	7.95	0.88
	550	600	8.83	0.88
	600	650	9.79	0.96
	650	700	10.67	0.88
	700	750	11.62	0.95
	750	800	12.58	0.96
	800	850	13.62	1.04
	850	900	14.62	1.00
	900	950	15.58	0.96
	950	1000	16.62	1.04
	1000	1050	17.63	1.01
	1050	1100	18.67	1.04
	1100	1150	19.70	1.03
	1150	1200	20.75	1.05
	1200	1250	21.82	1.07
	1250	1300	22.88	1.06
	1300	1350	23.95	1.07
	1350	1400	25.05	1.10
	1400	1450	26.17	1.12
	1450	1500	27.28	1.11
	1500	1550	28.42	1.14
	1550	1600	29.60	1.18
1600	1650	30.78	1.18	
1650	1700	32.00	1.22	
1700	1750	33.18	1.18	
1750	1800	34.47	1.29	
1800	1850	35.75	1.28	
1850	1900	37.03	1.28	
1900	1950	38.35	1.32	
1950	2000	39.70	1.35	
2000	2100	42.50	2.80	
2100	2200	45.45	2.95	
2200	2300	48.50	3.05	
2300	2350	<b>50.03</b>	1.53	

Figura C-1. Etapa Inicial de un Llenado de Argón Espectrometría



---

*Anexo D. Diagnóstico de la Instrumentación*

---

**Tabla D-1. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 901**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Válvulas manuales	V-110A	Respaldo de alimentación de N <sub>2</sub>	Válvulas de aguja de latón	Se requiere sustituir por válvulas de aguja de ac. inoxidable
	V-210A	Respaldo de Alimentación de Ar		
	V-510A	Alimentación de Helio		
	V-901A	Respaldo de Venteo	Válvula de diafragma de ac. inoxidable. Presión máx de operación 2500 psig	La válvula disponible es de 3/8". Se recomienda sustituir por una de 1/2" para evitar restricciones en el venteo
	V-907A	Vacío principal	Válvula de paso rápido	Buen estado
	V-908A	Suministro de agua a la bomba	Válvula de paso rápido	
Válvulas neumáticas	V-110	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula de fuelle de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx de operación 2500 psig	Buen estado. Se recomienda cambio de Kit de repuesto
	V-210	Alimentación de Ar		Buen estado
	V-901	Venteo		Buen estado. Se recomienda cambio de Kit de repuesto
	V-902	Alimentación araña izquierda		
	V-903	Alimentación araña derecha		
	V-904	Alimentación al laboratorio		
	V-905	Vacío cilindros araña derecha	Válvula de bola de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen estado. Se recomienda sustitución por escasez de repuestos en el mercado
	V-906	Vacío cilindros araña izquierda		
Válvula Check	CV-901	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta de ac. inoxidable. Presión de disparo 5 psig	Buen estado
Válvulas de Seguridad	SV-901	Protege a la Bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio. Presión de disparo (7 psig) 22 psia	Buen estado
Regulador de Presión	PR-901	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de 1 etapas de ac. inoxidable. Presión de entra hasta 3000 psig. Presión de salida regulable de 400 a 10 psig.	Se recomienda verificación de funcionamiento interno, así como verificación y calibración del manómetros
Transmisores de Presión	PT-901	Monitorea las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión absoluto. Rango de operación: 0-3000 psig. Exitación: 4-20 mA	Se recomienda verificación y calibración
	PT-902	Monitorea las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión relativo. Rango de operación: 0-100 psia. Exitación: 4-20 mA	
Bomba de vacío	VP-921	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico. Rango de operación 0-20 psia	Buen estado. Se recomienda mantenimiento preventivo
Selector de Gas	SG-901	Acoplar la línea de alimentación a emplear en el sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos. Ac. inoxidable. Presión máx. de operación 3000 psig	Buen estado

**Tabla D-2. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 921**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Válvulas manuales	V-120A	Respaldo de alimentación de N <sub>2</sub>	Válvulas de aguja de latón. Presión máx de operación 5000 psig.	Se requiere sustitución por válvulas de aguja de ac. inoxidable
	V-220A	Respaldo de Alimentación de Ar		
	V-925	Alimentación a la cesta	Válvula de paso rápido de ac. inoxidable.	Requiere sustitución debido a que no sella bien
	V-926	Suministro de agua a la bomba	Válvula de paso rápido	Buen estado
Válvulas neumáticas	V-120	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula de fuelle de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx de operación 2500 psig	No sella bien el asiento. Requieren cambio de Kit de repuesto
	V-220	Alimentación de Ar		
	V-921	Principal del sistema	Válvula de bola de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx de operación 2000 psig	Buen estado
	V-922	Vacío principal		
	V-923	Venteo		
	V-924	Alimentación al laboratorio		
Válvula de Seguridad	SV-921	Evita sobrepresiones desde la alimentación	Válvula de seguridad con mando manual. Presión de disparo 85 psig	Requiere verificación de la presión de disparo y calibración de ser necesario
	SV-922	Protege a la bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio. Presión de disparo (7 psig) 22 psia	Buen estado
	SV-923	Evita sobrepresiones desde los cilindros	Válvula de seguridad con mando manual. Presión de disparo 85 psig	Requiere verificación de la Presión de disparo y calibración de ser necesario
Reguladores de Presión	PR-921	Regula la presión de suministro al sistema a 75 psig	Regulador de presión de dos etapas de ac. inoxidable. Presión de entra hasta 4000 psig. Presión de salida regulable de 400 a 10 psig.	Se recomienda verificación de funcionamiento interno, así como verificación y calibración de los manómetros
	PR-922	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa de ac. inoxidable. Presión de entra hasta 3000 psig. Presión de salida regulable de 400 a 10 psig.	
Transmisor de Presión	PT-921	Monitorea las presiones positivas y de vacío en el sistema	Transmisor de presión relativo. Rango de operación: 0-5000 psig. Exitación: 4-20 mA	Requiere sustitución por un transmisor de presión absoluto con rango de operación de 0-100 psia
Transmisores de Temperatura	TT-921	Monitorea la temperatura interna del horno	Termocupla tipo J	Requiere verificación y calibración
	TT-922	Monitorea la temperatura de las resistencias del horno		
Bomba de vacío	VP-921	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico. Rango de operación 0-20 psia	Buen estado. Se recomienda mantenimiento preventivo.
Intercambiador de calor	HE-921	Disminuir la temperatura de la corriente de salida del proceso	Intercambiador de calor de aletas de dos ramas	Buen estado

**Tabla D-2. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 921 (cont.)**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Selector de Gas	SG-921	Acoplar la línea de alimentación a emplear en el sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos. Ac. inoxidable. Presión máx. de operación 3000 psig	Buen estado
Ventilador	FAN-921	Hacer circular el aire dentro del horno	Ventilador accionado por motor. Voltaje 220 V. Potencia 2.2 Kw. Frecuencia 60 Hz. Revoluciones por minuto 1715.	Buen estado

**Tabla D- 3. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 931**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Válvulas Manuales	V-130A	Respaldo alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula de regulación en ac. inoxidable. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen estado
	V-230A	Respaldo alimentación de Ar		
	V-330A	Alimentación de O <sub>2</sub>		
	V-430A	Respaldo alimentación de CO <sub>2</sub>		
	V-530A	Respaldo alimentación de He	Válvula de regulación de bronce	Se requiere sustitución por una válvula de regulación de ac. inoxidable
	V-730A	Respaldo alimentación de Mp	Válvulas de aguja de ac. inoxidable. Presión máx de operación 5000 psig.	Se recomienda sustitución para reducir el número de conectores
	V-730V	Venteo línea Mp	Válvula de diafragma de un cuarto de vuelta de ac. inoxidable. Presión máx. de operación 3000 psig	La válvula disponible es de ¼". Se recomienda sustituir por una de 3/8" para evitar restricciones en el venteo
	V-931A	Respaldo de venteo	Válvula de aguja de ac. inoxidable. Presión máx. de trabajo 6000 psig	La válvula disponible es de ¼". Se recomienda sustituir por una de ½" para evitar restricciones en el venteo
	V-937A	Respaldo vacío principal	Válvula de regulación en ac. inoxidable. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen estado
Válvulas Neumáticas	V-130	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvulas de fuelle de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx de operación 2500 psig	Buen estado. Se recomienda cambio de Kit de repuesto
	V-230	Alimentación de Ar		
	V-430	Alimentación de CO <sub>2</sub>		
	V-530	Alimentación de He		
	V-730	Alimentación Mp		
	V-931	Venteo		
	V-932	Principal de alimentación		
	V-933	Dosificación de alimentación		
	V-934	Alimentación al laboratorio		
	V-935	Alimentación araña derecha		
	V-936	Alimentación araña izquierda		
	V-937	Principal de vacío		
	V-938	Respaldo vacío principal		
Válvula Check	CV-931	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta de Ac. inoxidable. Presión de disparo 5 psig.	Se requiere sustitución ya que se venció el muelle
Válvulas de Seguridad	SV-931	Protege al transmisor de presión de presiones mayores a 100 psi	Válvula de seguridad con mando manual. Presión de disparo 85 psig	Requiere verificación de la presión de disparo y calibración
	SV-932	Protege a la bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio. Presión de disparo (7 psig) 22 psia	Buen estado

**Tabla D- 3. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 931 (cont.)**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Regulador de Presión	PR-931	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa de ac. inoxidable. Presión de entra hasta 3000 psig. Presión de salida regulable de 400 a 10 psig.	Se recomienda verificación de funcionamiento interno, así como verificación y calibración del manómetros
Transmisores de Presión	PT-931	Censa las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión absoluto. Rango de operación: 0-3000 psig. Exitación: 4-20 mA	Se recomienda verificación y calibración
	PT-932	Monitorea las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión relativo. Rango de operación: 0-100 psig. Exitación: 4-20 mA	Se recomienda sustitución por transmisor de presión absoluto. Rango de operación: 0-100 psia.
Medidor de Flujo Másico	FT-931	Monitorea el flujo másico de la corriente gaseosa	Medidor y totalizador de flujo másico de ac. inoxidable. Rango de operación 0-20 Kg/min. Presión máx. de operación 4000 psig. Exitación: 4-20 mA	Fuera de servicio. Se recomienda verificación, calibración y reactivación.
Bomba de vacío	VP-931	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de aceite. Rango de operación 0-20 psia	Se requiere sustitución de los sellos y mantenimiento preventivo.
Selector de Gas	SG-931	Acoplar la línea de alimentación a emplear en el sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos. Ac. inoxidable. Presión máxima de operación 3000 psig	Buen estado



**Tabla D-4. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 941**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Válvulas manuales	V-140A	Respaldo alimentación de N <sub>2</sub>	Válvulas de aguja de ac. inoxidable. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen estado
	V-240A	Respaldo alimentación de Ar		
	V-440A	Respaldo alimentación de CO <sub>2</sub>		
	V-540A	Respaldo alimentación de He		
	V-740A	Respaldo alimentación del Mp		
	V-740V	Ventoeo del Mp	Válvula de bola de un cuarto de vuelta. Presión máx. de operación 3000 psig	Buen estado
	V-941A	Respaldo Ventoeo	Válvulas de Aguja de ac. inoxidable. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen Estado
	V-947A	Respaldo Vacío principal	Válvula de paso rápido	Buen estado
V-948A	Suministro de agua a la bomba			
Válvulas neumáticas	V-140	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula de fuelle de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx de operación 2500 psig	Buen estado.
	V-240	Alimentación de Ar		
	V-440	Alimentación de CO <sub>2</sub>		
	V-540	Alimentación de He		
	V-740	Alimentación del Mp		
	V-941	Ventoeo		
	V-942	Alimentación araña izquierda		
	V-943	Alimentación araña derecha		
	V-944	Alimentación al laboratorio		
	V-945	Vacío cilindros araña derecha	Válvula de bola de ac. inoxidable con actuador de doble acción. Presión máx. de operación 6000 psig	Buen estado. Se recomienda sustitución por escasez de repuestos en el mercado
V-946	Vacío cilindros araña izquierda			
V-947	Vacío principal	Válvula de bola de ac. inoxidable con actuador tipo de resorte Presión max. de operación 100 psig	Buen estado	
Válvula Check	CV-941	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta de ac. inoxidable. Presión de disparo 5 psig.	Buen estado
Válvulas de Seguridad	SV-941	Protege a la Bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio. Presión de disparo (7 psig) 22 psia	Buen estado
Regulador de Presión	PR-941	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de 1 etapa de ac. inoxidable. Presión de entrada hasta 3000 psig. Presión de salida regulable de 400 a 10 psig.	Buen estado.

**Tabla D-4. Diagnóstico de la Instrumentación del Panel 941 (cont.)**

<b>Instrumentación</b>	<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
Transmisores de Presión	PT-941	Monitorea las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión absoluto. Rango de operación: 0-3000 psig. Exitación: 4-20 mA	Buen estado
	PT-942	Monitorea las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión relativo. Rango de operación: 0-100 psia. Exitación: 4-20 mA	
Bomba de vacío	VP-941	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico. Rango de operación 0-20 psia	Buen estado. Se recomienda mantenimiento preventivo.
Selector de Gas	SG-941	Acoplar la línea de alimentación a emplearen el sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos. Ac. inoxidable. Presión máx. de operación 3000 psig	Buen estado

---

*Anexo E. Lista de Instrumentos*

---

**Tabla E-1. Lista de Instrumentos del Panel 901**

<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Característica</b>	<b>Presión máxima de operación</b>	<b>Material</b>	<b>Conexión</b>
V-110A	Respaldo alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-210A	Respaldo alimentación de Ar	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-310A	Respaldo alimentación de O <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-410A	Respaldo alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-510A	Respaldo alimentación de He	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-901A	Respaldo venteo	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-907A	Respaldo vacío principal	Válvula de paso rápido	100 psig	Ac. Inoxidable	1 1/2"
V-908A	Suministro de agua a la bomba	Válvula de paso rápido	N/A	Ac. Inoxidable	1/2"
V-110	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-210	Alimentación de Ar	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-310	Alimentación de O <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-410	Alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-510	Alimentación de He	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-901	Ventoeo	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-902	Alimentación araña izquierda	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-903	Alimentación araña derecha	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-904	Alimentación al laboratorio	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-905	Vacío araña derecha	Válvulas de bola	3000 psig	Ac. Inoxidable	
V-906	Vacío araña izquierda	Válvulas de bola	3000 psig	Ac. Inoxidable	
V-907	Principal de vacío	Válvula de bola	120 psig	Ac. Inoxidable	1 1/2"
CV-901	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta	P de disparo: 5 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
SV-901	Protege a la bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio	P de disparo: 7 psig (22 psia)	Bronce	1 1/4"
PR-901	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa	Entrada: 3000psig Salida: 400-10 psig	Ac. Inoxidable	1/4"×1/8"
PT-901	Censa las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión relativo	0-3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
PT-902	Censa las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión absoluto	0-100 psia	Ac. Inoxidable	1/2"
VP-901	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico	0-20 psia	Acero al carbono	1 1/4" (Succión)
SG-901	Acoplar la línea de alimentación a emplear al sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"

**Tabla E-2. Lista de Instrumentos del Panel 921**

Identificación	Función	Característica	Presión - Temp. máx. de operación	Material	Conexión
V-120A	Respaldo de alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja	3000 psig - N/A	Ac. Inoxidable	3/8"
V-220A	Respaldo de Alimentación de Ar	Válvula manual de aguja	3000 psig - N/A	Ac. Inoxidable	3/8"
V-926	Alimentación a la cesta	Válvula de paso rápido	150 psig - 200°C	Ac. Inoxidable	3/4"
V-927	Suministro de agua a la bomba	Válvula de paso rápido	N/A	Ac. Inoxidable	1/2"
V-120	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig - 200°C	Ac. Inoxidable	3/8"
V-220	Alimentación de Ar	Válvula neumática de fuelle	3000 psig - 200°C	Ac. Inoxidable	3/8"
V-921	Principal del sistema	Válvula neumática de bola	150 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	3/4"
V-922	Principal de vacío	Válvula neumática de bola	150 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	3/4"
V-923	Respaldo vacío principal	Válvula neumática de bola	150 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	3/4"
V-924	Alimentación al laboratorio	Válvula neumática de bola	150 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	3/4"
V-925	Venteo	Válvula neumática de bola	150 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	3/4"
SV-921	Evita sobrepresiones desde la alimentación	Válvula de seguridad con mando manual	P de disparo: 85 psia - N/A	Ac. Inoxidable	1/4"
SV-922	Protege a la Bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio	P disparo: 7 psig (22 psia) - N/A	Ac. Inoxidable	1/2"
SV-923	Evita sobrepresiones desde los cilindros	Válvula de seguridad con mando manual	P disparo: 85 psia - N/A	Ac. Inoxidable	1/4"
PR-921	Regula la presión de suministro al sistema a 75 psig	Regulador de presión de dos etapas	Entrada: 4000 psig Salida: 400-10 psig -N/A	Ac. Inoxidable	3/8"× 3/8"
PR-922	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa	Entrada: 3000psig Salida: 400-10 psig - 100°C	Ac. Inoxidable	1/4"×1/8"
PT-921	Censa las presiones positivas y de vacío en el sistema	Transmisor de presión absoluto	0-100 psia - 100°C	Ac. Inoxidable	3/8"
TT-921	Censa la temperatura del aire interno del horno	Termocupla tipo J	N/A - 200°C	Ac. Inoxidable	N/A
TT-922	Censa la temperatura de las resistencias del horno			Ac. Inoxidable	
VP-921	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico	0-20 psia	Acero al carbono	1 1/4" (Succión)
HE-921	Disminuir la temperatura de la corriente de salida del proceso	Intercambiador de calor de aletas de dos ramas	150 psig	Ac. Inoxidable	1"
SG-921	Acoplar la línea de alimentación a emplear al sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos.	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"

**Tabla E-2. Lista de Instrumentos del Panel 921 (cont.)**

<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Característica</b>	<b>Presión - Temp. máx. de operación</b>	<b>Material</b>	<b>Conexión</b>
FAN-921	Hacer circular el aire dentro del horno	Ventilador con voltaje 220V. Potencia 2.2 Kw. Frecuencia 60 Hz. Revoluciones por minuto. 1715	N/A – 200 °C	N/A	N/A

**Tabla E-3. Lista de Instrumentos del Panel 931**

Identificación	Función	Característica	Presión máxima de operación	Material	Conexión
V-130A	Respaldo alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable.	1/2"
V-230A	Respaldo alimentación de Ar	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-330A	Alimentación de O <sub>2</sub>	Válvula manual de regulación con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-430A	Respaldo alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-530A	Respaldo alimentación de He	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-730A	Respaldo alimentación de Mp	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-730V	Venteo línea Mp	Válvula manual de paso rápido	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-931A	Respaldo de venteo	Válvula manual de bola de un cuarto de vuelta	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-937A	Respaldo vacío principal	Válvula manual de regulación	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-130	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-230	Alimentación de Ar	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-330	Alimentación de O <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle con limpieza de O <sub>2</sub>	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-430	Alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-530	Alimentación de He	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-730	Alimentación Mp	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	3/8"
V-931	Venteo	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-932	Principal de alimentación	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-933	Dosificación de alimentación	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/4"
V-934	Alimentación al laboratorio	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/4"
V-935	Alimentación araña derecha	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-936	Alimentación araña izquierda	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-937	Principal de vacío	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
V-938	Respaldo vacío principal	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
CV-931	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta	P de disparo 5 psig	Ac. inoxidable	1/2"
SV-931	Protege al transmisor de presión de presiones mayores a 100 psi	Válvula de seguridad con mando manual	P de disparo 85 psia	Ac. inoxidable	1/4"
SV-932	Protege a la bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio	P de disparo 7 psig (22 psia)	Bronce	1/2"
PR-931	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa	Entrada: 3000psig Salida: 400-10 psig	Ac. inoxidable	1/4"×1/8"
PT-931	Censa las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión relativo.	0-3000 psig	Ac. inoxidable	1/2"
PT-932	Censa las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión absoluto	0-100 psig	Ac. inoxidable	1/2"

**Tabla E-3. Lista de Instrumentos del Panel 931 (cont.)**

<b>Identificación</b>	<b>Función</b>	<b>Característica</b>	<b>Presión máxima de operación</b>	<b>Material</b>	<b>Conexión</b>
FT-931	Censa el flujo másico de la corriente gaseosa	Medidor y totalizador de flujo másico	4000 psig	Ac. inoxidable	½"
VP-931	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de aceite	0-20 psia	Acero al carbono	1" (Succión)
SG-931	Acoplar la línea de alimentación a emplear al sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos.	3000 psig	Ac. inoxidable	½"



**Tabla E- 4. Lista de Instrumentos del Panel 941**

Identificación	Función	Característica	Presión máxima de operación	Material	Conexión
V-140A	Respaldo alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. noxidable	1/2"
V-240A	Respaldo alimentación de Ar	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac.Inoxidable	1/2"
V-440A	Respaldo alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-540A	Respaldo alimentación de He	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-740A	Respaldo alimentación Mp	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. noxidable	3/8"
V-740V	Ventoeo multipunto	Válvula de bola de un cuarto de vuelta	3000 psig	Ac. noxidable	3/8"
V-941A	Respaldo de ventoeo	Válvula manual de aguja	3000 psig	Ac. noxidable	3/4"
V-947A	Respaldo vacío principal	Válvula de paso rápido		Ac. noxidable	1 1/4"
V-948A	Alimentación de agua a la bomba	Válvula de paso rápido	N/A	Ac. noxidable	1/2"
V-140	Alimentación de N <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-240	Alimentación de Ar	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-440	Alimentación de CO <sub>2</sub>	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-540	Alimentación de He	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-740	Alimentación del Mp	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	3/8"
V-941	Ventoeo	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-942	Alimentación araña izquierda	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-943	Alimentación araña derecha	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-944	Alimentación al laboratorio	Válvula neumática de fuelle	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/4"
V-945	Vacío araña derecha	Válvulas de bola	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-946	Vacío araña izquierda	Válvulas de bola	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
V-947	Vacío principal	Válvula de bola	120 psig	Ac. Inoxidable	1 1/2"
CV-941	Antirretorno de la alimentación	Válvula antirretorno compacta	P de disparo: 5 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
SV-941	Protege a la bomba de vacío de sobrepresiones	Válvula de seguridad con tapa de alivio	P de disparo: 7 psig (22 psia)	Bronce	1 1/4"
PR-941	Regula la presión de suministro al laboratorio a 40psig	Regulador de presión de una etapa	Entrada: 3000psig Salida: 400-10 psig	Ac. Inoxidable	1/4"×1/8"
PT-941	Censa las presiones positivas en el sistema	Transmisor de presión relativo	0-3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"
PT-942	Censa las presiones de vacío en el sistema	Transmisor de presión absoluto	0-100 psia	Ac. Inoxidable	1/2"
VP-941	Hacer vacío en el sistema	Bomba de vacío de sello hidráulico	0-20 psia	Acero al carbono	1 1/4" (Succión)
SG-941	Acoplar la línea de alimentación a emplear al sistema	Tubería en ángulo con conectores rápidos	3000 psig	Ac. Inoxidable	1/2"

---

***Anexo F. Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) de los Páneles  
Sin Considerar las Mejoras Propuestas***

---

---

***Anexo G. Diagramas de Flujo de Proceso (DFP) de los Páneles  
Considerando las Mejoras Propuestas***

---

---

***Anexo H. Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) de los  
Páneos. Sin Considerar las Mejoras Propuestas***

---

---

***Anexo I. Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) de los  
Páneles. Considerando las Mejoras Propuestas***

---

---

*Anexo J. Formato original de las Órdenes de Servicio*

---

---

*Anexo K. Formato Mejorado de las Órdenes de Servicio del  
Panel 941*

---

---

*Anexo L. Diagrama Lógico de Flujo (DLF)  
del Panel 941*

---



---

*Anexo M. Protocolo de Prueba para  
Nitrógeno Puro*

---

---

*Anexo N. Protocolo de Prueba para  
Mapax 0030*

---

---

*Anexo O. Señales Analógicas / Digitales*

---

Tabla O-1. Señales Analógicas de entrada

<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>
PT-101	Presión línea de N <sub>2</sub>
PT-201	Presión línea de Ar
PT-301	Presión línea de O <sub>2</sub>
PT-401	Presión línea de CO <sub>2</sub>
PT-501	Presión línea de Helio
PT-901	Presión de línea PT-901
PT-902	Presión de vacío PT-902
PT-921	Presión de línea PT-921
TT-921	Temp. resist. R-921
TT-922	Tem. resist. R-922
PT-931	Presión de línea PT-931
FT-931	Medidor de Flujo FT-931
PT-932	Presión de vacío PT-931
PT-941	Presión de línea PT-941
PT-942	Presión de vacío PT-942

Tabla O-2. Señales Digitales de Salida - Páneles 901 y 921

<b>Panel 901</b>		<b>Panel 921</b>	
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>
SCP-N <sub>2</sub>	Bomba de LIN OFF	SV-120	Acciona válv. suministro N <sub>2</sub>
SCP-O <sub>2</sub>	Bomba de LOX OFF	SV-220	Acciona válv. Suministro Ar
SCP-Ar	Bomba de LAR OFF	SV-921	Acciona válv. ppal P-921
SV-110	Acciona válv. suministro N <sub>2</sub>	SV-922	Acciona válv. Alim. P-921
SV-210	Acciona válv. Suministro Ar	SV-923	Acciona válv. línea de vacío
SV-310	Acciona válv. suministro O <sub>2</sub>	SV-924	Acciona válv. Muestra a lab.
SV-410	Acciona válv. suministro CO <sub>2</sub>	SV-925	Acciona válv. de venteo
SV-510	Acciona válv. suministro He	SR-921	Acciona resistencia R-921
SV-901	Acciona válv. de venteo	SR-922	Acciona resistencia R-922
SV-902	Acciona válv. araña S-902	Sfan-921	Arranque ventilador 921
SV-903	Acciona válv. araña S-901	SVP-921	Arranque bomba VP-921
SV-904	Acciona válv. muestra a Lab.	---	---
SV-905	Acciona válv. vacío araña S-901	---	---
SV-906	Acciona válv. vacío araña S-902	---	---
SV-907	Acciona válv. ppal de vacío	---	---
SVP-901	Arranque bomba VP-901	---	---

Tabla O-3. Señales Digitales de Salida - Páneles 931 y 941

<b>Panel 931</b>		<b>Panel 941</b>	
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>
SV-230	Acciona válv. suministro Ar	SV-240	Acciona válv. Suministro Ar
SV-330	Acciona válv. suministro O <sub>2</sub>	SV-440	Acciona válv. suministro CO <sub>2</sub>
SV-430	Acciona válv. suministro CO <sub>2</sub>	SV-540	Acciona válv. suministro de He
SV-530	Acciona válv. suministro He	SV-740	Acciona válv. suministro Mp
SV-730	Acciona válv. suministro de Mp	SV-941	Acciona válv. de venteo
SV-931	Acciona válv. de venteo	SV-942	Acciona válv. araña S-942
SV-932	Acciona válv. ppal alto flujo	S_943	acciona válv. araña S-941
SV-933	Acciona válv. ppal bajo flujo	SV-944	Acciona válv. muestra a lab.
SV-934	Acciona válv. muestra a lab.	SV-945	Acciona válv. vacío araña S-941
SV-935	Acciona válv. araña S-931	SV-946	Acciona válv. vacío araña S-942
SV-936	Acciona válv. araña S-932	SV-947	Acciona válv. línea ppal vacío
SV-937	Acciona válv. ppal. de vacío	SVP-941	Arranque bomba VP-941
SV-938	Acciona válv. respaldo de vacío	---	---
SVP-931	Arranque bomba VP-931	---	---

Tabla O-4. Señales Digitales de Entrada - Páneles 901 y 921

<b>Panel 901</b>		<b>Panel 921</b>	
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>
CP-N <sub>2</sub>	Bomba Lin ON	FS-901	Flujo de H <sub>2</sub> O a VP-901
CP-O <sub>2</sub>	Bomba de Lox ON	V-120	Válv. suministro N <sub>2</sub> abierta
CP-Ar	Bomba de Lar ON	V-220	Válv. suministro Ar abierta
V-110	Válv. suministro N <sub>2</sub> abierta	V-921	Válv. ppal P-921 abierta
V-210	Válv. suministro Ar abierta	V-922	Válv. vacío ppal P-921 abierta
V-310	Válv. suministro O <sub>2</sub> abierta	V-923	Válv. respaldo vacío abierta
V-410	Válv. suministro CO <sub>2</sub> abierta	V-924	Válv. muestra lab. Abierta
V-510	Válv. suministro He abierta	V-925	Válv. de venteo abierta
V-901	Válv. de venteo abierta	R-921	Resistencia 921 ON
V-902	Válv. araña S-902 abierta	R-922	Resistencia 922 ON
V-903	Válv. araña S-901 abierta	Fan-921	Ventilador 921 ON
V-904	Válv. muestra al Lab. abierta	VP-921	Bomba de vacío VP-921 ON
V-905	Válv. vacío araña S-901 abierta	FS-921	Flujo de H <sub>2</sub> O a V-921
V-906	Válv. vacío araña S-902 abierta	---	---
V-907	Válv. ppal de vacío abierta	---	---
VP-901	Bomba de vacío VP-901 ON	---	---

Tabla O-5. Señales Digitales de Entrada - Páneles 931 y 941

<b>Panel 931</b>		<b>Panel 941</b>	
V-130	Válv. suministro de N <sub>2</sub> abierta	V-140	Válv. suministro de N <sub>2</sub> abierta
V-230	Válv. suministro de Ar abierta	V-240	Válv. suministro de Ar abierta
V-330	Válv. suministro de O <sub>2</sub> abierta	V-440	Válv. suministro de CO <sub>2</sub> abierta
V-430	Válv. suministro de CO <sub>2</sub> abierta	V-540	Válv. suministro de He abierta
V-530	Válv. de He abierta	V-740	Válv. suministro de Mp abierta
V-730	Válv. suministro de Mp abierta	V-941	Válv. de venteo abierta
V-931	Válv. de venteo abierta	V-942	Válv. llenado S-942 abierta
V-932	Válv. Ppal alto flujo P-931 abierta	V-943	Válv llenado S-941 abierta
V-933	Válv. Ppal bajo flujo P-931 abierta	V-944	Válv. muestra a lab. abierta
V-934	Válv. muestra a lab. abierta	V-945	Válv. de vacío S-941 abierta
V-935	Válv. llenado S-931 abierta	V-946	Válv. de vacío S-942 abierta
V-936	Válv. llenado S-932 abierta	V-947	Válv. Línea ppal de vacío abierta
V-937	Válv. control de vacío abierta	VP-941	Bomba de vacío VP-941 ON
V-938	Válv. ppal de vacío abierta	FS-941	Flujo de H <sub>2</sub> O a VP-941
VP-931	Bomba de vacío VP-931 ON	---	---



---

***Anexo P. Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)***  
***Sistema de Suministro de CO<sub>2</sub>***

---

---

*Anexo Q. Diagrama de Distribución Física Panel 941*

---

---

*Anexo R. Dirección de las Señales para el PLC*

---

**Tabla R-1. Dirección de las Señales de Entrada Analógica**

<b>Modulo 1</b>				<b>Modulo 2</b>			
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
PT-101	Presión línea de Nitrógeno	CHANNEL	2001	PT-921	Presión de línea PT-921	CHANNEL	2011
PT-201	Presión línea de Argón	CHANNEL	2002	TT-921	Temp. resist. R-921	CHANNEL	2012
PT-301	Presión línea de Oxígeno	CHANNEL	2003	TT-922	Tem. resist. R-922	CHANNEL	2013
PT-401	Presión línea de CO2	CHANNEL	2004	PT-931	Presión de línea PT-931	CHANNEL	2014
PT-501	Presión línea de Helio	CHANNEL	2005	FT-931	Medidor de Flujo FT-931	CHANNEL	2015
PT-901	Presión de línea PT-901	CHANNEL	2006	PT-932	Presión de vacío PT-931	CHANNEL	2016
PT-902	Presión de vacío PT-902	CHANNEL	2007	PT-941	Presión de línea PT-941	CHANNEL	2017
---	Disponible		2008	PT-942	Presión de vacío PT-942	CHANNEL	2018

**Tabla R-2. Dirección de las Señales de Entrada Digital. Módulos 1 y 2**

<b>Módulo 1</b>				<b>Módulo 2</b>			
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
CP-N2	Bomba Lin ON	BOOL	0.00	FS-901	Flujo de H2O a VP-901	BOOL	1.00
CP-O2	Bomba de Lox ON	BOOL	0.01	V-120	Válv. suministro N2 abierta	BOOL	1.01
CP-Ar	Bomba de Lar ON	BOOL	0.02	V-220	Válv. suministro Ar abierta	BOOL	1.02
V-110	Válv. suministro N2 abierta	BOOL	0.03	V-921	Válv. ppal P-921 abierta	BOOL	1.03
V-210	Válv. suministro Ar abierta	BOOL	0.04	V-922	Válv. vacío ppal P-921 abierta	BOOL	1.04
V-310	Válv. suministro O2 abierta	BOOL	0.05	V-923	Válv. respaldo vacío abierta	BOOL	1.05
V-410	Válv. suministro CO2 abierta	BOOL	0.06	V-924	Válv. muestra lab. Abierta	BOOL	1.06
V-510	Válv. suministro He abierta	BOOL	0.07	V-925	Válv. de venteo abierta	BOOL	1.07
V-901	Válv. de venteo abierta	BOOL	0.08	R-921	Resistencia 921 ON	BOOL	1.08
V-902	Válv. araña S-902 abierta	BOOL	0.09	R-922	Resistencia 922 ON	BOOL	1.09
V-903	Válv. araña S-901 abierta	BOOL	0.10	Fan-921	Ventilador 921 ON	BOOL	1.10
V-904	Válv. muestra al Lab. abierta	BOOL	0.11	VP-921	Bomba de vacío VP-921 ON	BOOL	1.11
V-905	Válv. vacío araña S-901 abierta	BOOL	0.12	FS-921	Flujo de H2O a V-921	BOOL	1.12
V-906	Válv. vacío araña S-902 abierta	BOOL	0.13	---	Disponible	---	1.13
V-907	Válv. ppal de vacío abierta	BOOL	0.14	---	Disponible	---	1.14
VP-901	Bomba de vacío VP-901 ON	BOOL	0.15	---	Disponible	---	1.15

**Tabla R-3. Dirección de las Señales de Entrada Digital. Módulos 3 y 4**

Módulo 3				Módulo 4			
Identificación	Señal	Tipo	Dirección	Identificación	Señal	Tipo	Dirección
V-130	Válv. suministro de N2 abierta	BOOL	2.00	V-140	Válv. suministro de N2 abierta	BOOL	3.00
V-230	Válv. suministro de Ar abierta	BOOL	2.01	V-240	Válv. suministro de Ar abierta	BOOL	3.01
V-330	Válv. suministro de O2 abierta	BOOL	2.02	V-440	Válv. suministro de CO2 abierta	BOOL	3.02
V-430	Válv. suministro de CO2 abierta	BOOL	2.03	V-540	Válv. suministro de He abierta	BOOL	3.03
V-530	Válv. de He abierta	BOOL	2.04	V-740	Válv. suministro de Mp abierta	BOOL	3.04
V-730	Válv. suministro de Mp abierta	BOOL	2.05	V-941	Válv. de venteo abierta	BOOL	3.05
V-931	Válv. de venteo abierta	BOOL	2.06	V-942	Válv. llenado S942 abierta	BOOL	3.06
V-932	Válv. Ppal alto flujo P931 abierta	BOOL	2.07	V-943	Válv llenado S941 abierta	BOOL	3.07
V-933	Válv. Ppal bajo flujo P931 abierta	BOOL	2.08	V-944	Válv. muestra a lab. abierta	BOOL	3.08
V-934	Válv. muestra a lab. abierta	BOOL	2.09	V-945	Válv. de vacío S941 abierta	BOOL	3.09
V-935	Válv. llenado S931 abierta	BOOL	2.10	V-946	Válv. de vacío S942 abierta	BOOL	3.10
V-936	Válv. llenado S932 abierta	BOOL	2.11	V-947	Válv. Línea ppal de vacío abierta	BOOL	3.11
V-937	Válv. control de vacío abierta	BOOL	2.12	VP-941	Bomba de vacío VP-941 ON	BOOL	3.12
V-938	Válv. ppal de vacío abierta	BOOL	2.13	FS-941	Flujo de H2O a VP-941	BOOL	3.13
VP-931	Bomba de vacío VP-931 ON	BOOL	2.14	---	Disponible	---	3.14
---	Disponible	BOOL	2.15	---	Disponible	---	3.15

**Tabla R-4. Dirección de las Señales de Salida Digital. Módulos 1 y 2**

<b>Módulo 1</b>				<b>Módulo 2</b>			
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
SCP-N2	Bomba de LIN OFF	BOOL	4.00	SV-120	Acciona válv. suministro N2	BOOL	5.00
SCP-O2	Bomba de LOX OFF	BOOL	4.01	SV-220	Acciona válv. Suministro Ar	BOOL	5.01
SCP-Ar	Bomba de LAR OFF	BOOL	4.02	SV-921	Acciona válv. ppal P-921	BOOL	5.02
SV-110	Acciona válv. suministro N2	BOOL	4.03	SV-922	Acciona válv. Alim. P-921	BOOL	5.03
SV-210	Acciona válv. Suministro Ar	BOOL	4.04	SV-923	Acciona válv. línea de vacío	BOOL	5.04
SV-310	Acciona válv. suministro O2	BOOL	4.05	SV-924	Acciona válv. muestra a lab.	BOOL	5.05
SV-410	Acciona válv. suministro CO2	BOOL	4.06	SV-925	Acciona válv. de venteo	BOOL	5.06
SV-510	Acciona válv. suministro He	BOOL	4.07	SR-921	Acciona resistencia R-921	BOOL	5.07
SV-901	Acciona válv. de venteo	BOOL	4.08	SR-922	Acciona resistencia R-922	BOOL	5.08
SV-902	Acciona válv. araña S-902	BOOL	4.09	Sfan-921	Arranque ventilador 921	BOOL	5.09
SV-903	Acciona válv. araña S-901	BOOL	4.10	SVP-921	Arranque bomba VP-921	BOOL	5.10
SV-904	Acciona válv. muestra a lab.	BOOL	4.11	---	Disponible	---	5.11
SV-905	Acciona válv. vacío araña S-901	BOOL	4.12	---	Disponible	---	5.12
SV-906	Acciona válv. vacío araña S-902	BOOL	4.13	---	Disponible	---	5.13
SV-907	Acciona válv. ppal de vacío	BOOL	4.14	---	Disponible	---	5.14
SVP-901	Arranque bomba VP-901	BOOL	4.15	---	Disponible	---	5.15

**Tabla R-5. Dirección de las Señales de Salida Digital. Módulos 3 y 4**

<b>Módulo 3</b>				<b>Módulo 4</b>			
<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>	<b>Identificación</b>	<b>Señal</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dirección</b>
SV-130	Acciona válv. suministro N2	BOOL	6.00	SV-140	Acciona válv. suministro N2	BOOL	7.00
SV-230	Acciona válv. suministro Ar	BOOL	6.01	SV-240	Acciona válv. Suministro Ar	BOOL	7.01
SV-330	Acciona válv. suministro O2	BOOL	6.02	SV-440	Acciona válv. suministro CO2	BOOL	7.02
SV-430	Acciona válv. suministro CO2	BOOL	6.03	SV-540	Acciona válv. suministro de He	BOOL	7.03
SV-530	Acciona válv. suministro He	BOOL	6.04	SV-740	Acciona válv. suministro Mp	BOOL	7.04
SV-730	Acciona válv. suministro de Mp	BOOL	6.05	SV-941	Acciona válv. de venteo	BOOL	7.05
SV-931	Acciona válv. de venteo	BOOL	6.06	SV-942	Acciona válv. araña S-942	BOOL	7.06
SV-932	Acciona válv. ppal alto flujo	BOOL	6.07	S-_943	acciona válv. araña S-941	BOOL	7.07
SV-933	Acciona válv. ppal bajo flujo	BOOL	6.08	SV-944	Acciona válv. muestra a lab.	BOOL	7.08
SV-934	Acciona válv. muestra a lab.	BOOL	6.09	SV-945	Acciona válv. vacío araña S-941	BOOL	7.09
SV-935	Acciona válv. araña S-931	BOOL	6.10	SV-946	Acciona válv. vacío araña S-942	BOOL	7.10
SV-936	Acciona válv. araña S-932	BOOL	6.11	SV-947	Acciona válv. línea ppal vacío	BOOL	7.11
SV-937	Acciona válv.ppal.de vacío	BOOL	6.12	SVP-941	Arranque bomba VP-941	BOOL	7.12
SV-938	Acciona válv. respaldo de vacío	BOOL	6.13	---	Disponible	---	7.13
SVP-931	Arranque bomba VP-931	BOOL	6.14	---	Disponible	---	7.14
---	Disponible	---	6.15	---	Disponible	---	7.15



---

*Anexo S. Modelo de Programación del PLC en  
Lenguaje Ladder*

---