

**Manual de operación y manual de mantenimiento de una planta de procesos del
laboratorio de ingeniería mecatrónica**

Andrés Felipe Socha Chacón

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Directora

Ing. Deisy Carolina Páez Casas

Ing. electrónica

Codirector

Ing. Félix Antonio Pérez

Máster en control industrial

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Mecatrónica

2022

Resumen

Las plantas de procesos del laboratorio de automatización (PP) de la Universidad Santo Tomás se vieron averiadas a lo largo del último año debido a mal uso y a paradas por periodos muy amplios de tiempo. Por ello, se identifica la necesidad de realizar un diagnóstico completo de todos sus elementos, de tal forma que puedan realizarse las respectivas reparaciones, su puesta en marcha y el establecimiento de recomendaciones que hagan menos probable que se repitan las fallas identificadas. Con este fin en mente, en el presente trabajo se desarrolló una revisión completa de los elementos constituyentes y, de esta manera, un diagnóstico completo de las PP. Al final, se encontró que la PP 1 era la que se hallaba en mejor estado, se realizaron las reparaciones necesarias para su funcionamiento y se puso en marcha. De forma adicional, a partir de todo el trabajo previo realizado, fue posible la generación de los manuales de operación y de mantenimiento para el caso de las 4 PP, con lo cual se espera que estudiantes, docentes y laboratoristas del futuro hagan uso y aprovechamiento adecuados de los bancos de laboratorio. Además, se plantean recomendaciones para trabajos futuros que puedan dar solución a problemas identificados que se hallan fuera de los propósitos de este trabajo.

Palabras Clave: *Plantas de procesos, Automatización, Diagnóstico, Mantenimiento, Electrónica.*

Abstract

The process plants of the automation laboratory (PP) of the Santo Tomás University were damaged over the last year due to misuse and stoppages for very long periods of time. For this reason, the need to carry out a complete diagnosis of all its elements is identified, in such a way that the respective repairs can be carried out, their start-up and the establishment of recommendations that make it less likely that the identified failures will be repeated. With this end in mind, in the present work a complete revision of the constituent elements was developed and, in this way, a complete diagnosis of PP. In the end, it was found that PP 1 was the one in the best condition, the necessary repairs were made for its operation and it was put into operation. Additionally, based on all the previous work carried out, it was possible to generate the operation and maintenance manuals for the case of the 4 PPs, with which it is expected that students, teachers and laboratory technicians of the future will use and take advantage of suitable for laboratory benches. In addition, recommendations are made for future work that can solve identified problems that are outside the purposes of this work.

Key Word- Process plants, Automation, Diagnosis, Maintenance, Electronics.

CONTENIDO

Introducción	14
1. Manual De Operación Y Manual De Mantenimiento De Una Planta de Procesos Del Laboratorio De Ingeniería Mecatrónica.....	15
1.1 Planteamiento Del Problema.....	15
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo General	17
1.3.1 Objetivo Específicos	17
1.4 Aportes Del Trabajo	18
2. Marco de Referencia	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Tesis Estudiantes.....	18
2.2 Marco Teórico.....	20
2.2.1 ¿Qué Es El Mantenimiento?.....	20
2.2.2 Definiciones	21
2.2.3 Clasificación Del Mantenimiento	23
2.2.4 Planeación Del Mantenimiento	28
2.2.5 Control Del Mantenimiento	31

3. Diseño Metodológico	33
4. Desarrollo	35
4.1. Presentación De Las Plantas	35
4.1.1 Actuadores.....	37
4.1.2 Sensores.....	38
4.2. Pruebas De Diagnóstico De La Instrumentación	42
4.2.1 Electrobombas (EB1 y EB2).....	42
4.2.2 Electroválvulas (VS1, VS2, VS3 y VS4).....	43
4.2.3 Resistencia Eléctrica (ER).....	43
4.2.4 Sensores De Nivel (SNA Y SND)	44
4.2.5 Sensores De Caudal (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, SF6, SF7 Y SF8)	45
4.2.6 Sensor De Temperatura (ST)	46
4.2.7 Sensor De Proximidad.....	46
4.3. Revisión De Fallas	47
4.3.1 Revisión De Fallas En Actuadores.....	48
4.3.2 Revisión De Fallas En Sensores.....	55
4.4. Diagnóstico General De Cada Planta.....	62
4.4.1 Planta 1.....	63
4.4.2 Planta 2.....	64

4.4.3 Planta 3.....	67
4.4.4 Planta 4.....	68
4.5. Selección Y Puesta En Marcha De Una De Las Plantas	71
4.6. Convención De Lectura De Los Sensores.....	74
4.6.1 Sensor De Temperatura MTB3560	75
4.6.2 Sensor De Caudal Vórtex.....	78
4.6.3 Sensor De Caudal POW110D3B	78
4.6.4 Sensor De Nivel Ultrasónico.....	81
4.6.5 Sensor De Nivel LSD.....	82
4.7. Manual De Operación	84
4.8. Manual De Mantenimiento	85
5. Conclusiones y Trabajos Futuros	86
5.1. Conclusiones	86
5.2. Trabajos Futuros.....	87
Bibliografía	88

Tabla De Tablas

Tabla 1. <i>Información válvulas solenoide.</i>	37
Tabla 2. <i>Información electrobombas.</i>	37
Tabla 3. <i>Información electroválvula solenoide ON-OFF.</i>	38
Tabla 4. <i>Información resistencia eléctrica.</i>	38
Tabla 5. <i>Información sensor KG0010.</i>	39
Tabla 6. <i>Información sensor KCN-T18PS.</i>	39
Tabla 7. <i>Información sensor MBT3560.</i>	40
Tabla 8. <i>Información sensor the probe.</i>	40
Tabla 9. <i>Información LSD-30.</i>	41
Tabla 10. <i>Información sensor SV4050.</i>	41
Tabla 11. <i>Información sensor POW110D3B.</i>	42
Tabla 12. <i>Calificación de estado actual 4 plantas.</i>	71
Tabla 13. <i>Mediciones de temperatura en termopar y voltaje en lectura de sensor MTB3560.</i>	76
Tabla 14. <i>Mediciones de altura en LSD y voltaje en la lectura del sensor.</i>	83
Tabla 15. <i>Información electrobomba.</i>	91
Tabla 16. <i>Información electroválvulas proporcionales.</i>	92
Tabla 17. <i>Información electroválvulas ON-OFF.</i>	92
Tabla 18. <i>Información sensor de temperatura.</i>	93
Tabla 19. <i>Información sensor de caudal vortex.</i>	93
Tabla 20. <i>Información sensor de caudal POW110D3B.</i>	94

Tabla 21. <i>Información sensor capacitivo KG0010.</i>	94
Tabla 22. <i>Información sensor capacitivo KCN-T18PS.</i>	95
Tabla 23. <i>Información sensor de nivel The probe.</i>	95
Tabla 24. <i>Información sensor de nivel LSD-30.</i>	96
Tabla 0-11. <i>Equivalencia de nomenclaturas de sensores entre plantas 1-4 y 2-3.</i>	120
Tabla 26. <i>Equivalencia de nomenclaturas de actuadores entre plantas 1-4 y 2-3.</i>	121
Tabla 27. <i>Información sensor KG0010.</i>	122
Tabla 28. <i>Información sensor KCN-T18PS</i>	122
Tabla 29. <i>Información sensor MBT3560.</i>	123
Tabla 30. <i>Información sensor the probe.</i>	123
Tabla 31. <i>Información LSD-30</i>	124
Tabla 32. <i>Información sensor SV4050.</i>	124
Tabla 33. <i>Información sensor POW110D3B</i>	125
Tabla 34. <i>Descripción e identificación de sensores.</i>	126
Tabla 35. <i>Descripción e identificación de actuadores.</i>	127
Tabla 36. <i>Ventajas y desventajas mantenimiento correctivo.</i>	129
Tabla 38. <i>Ventajas y desventajas mantenimiento preventivo.</i>	149

Tabla De Figuras

Figura 1. <i>Esquema de la planta de procesos USTA.</i>	36
Figura 2. <i>Segmentación del cuadro eléctrico.</i>	48
Figura 3. <i>Conexión entre líneas en una misma bornera.</i>	49
Figura 4. <i>Circuito esquemático electrobomba.</i>	50
Figura 5. <i>Circuito esquemático electroválvula ON/OFF.</i>	50
Figura 6. <i>Circuito esquemático electroválvula proporcional. Tomado de [1].</i>	51
Figura 7. <i>PCB de tarjeta de potencia.</i>	51
Figura 8. <i>Alimentación de la tarjeta de potencia.</i>	52
Figura 9. <i>Explosionado electrobomba.</i>	54
Figura 10. <i>Conexión del interruptor de presión.</i>	55
Figura 11. <i>Circuitos esquemáticos sensores no capacitivos.</i>	56
Figura 12. <i>Circuitos esquemáticos sensores capacitivos.</i>	57
Figura 13. <i>PCB de tarjeta de sensores.</i>	57
Figura 14. <i>Alimentación de tarjeta de sensores.</i>	58
Figura 15. <i>Conexión sensor the probe.</i>	59
Figura 16. <i>Conexión sensor vórtex.</i>	59
Figura 17. <i>Conexión sensor LSD-30.</i>	60
Figura 18. <i>Conexión sensor KG0010.</i>	61
Figura 19. <i>Conexión sensor Bernstein KCN-T18PS</i>	62
Figura 20. <i>Conexión sensor POW110DB3.</i>	62
Figura 21. <i>Daño de la membrana en la bomba EB2 de planta 1.</i>	64

Figura 22. Localización de la falla caudalímetro SF6 en la tarjeta de sensores para planta 2.	65
Figura 23. Localización mala conexión en sensor de temperatura para planta 2.	66
Figura 24. Daño de la membrana de la bomba EB2 en planta 2.	67
Figura 25. Localización falla conexión válvula VS1 en planta 3.	68
Figura 26. Problemas de cableado en planta 4.	70
Figura 27. Soportes sustitutos impresos en 3D.	73
Figura 28. Mediciones de temperatura en termopar y voltaje en sensor MTB3560.	75
Figura 29. Gráfica de resultados temperatura termo par vs voltaje en lectura del sensor MTB3560.	77
Figura 30. Circuito proporcionado por el fabricante para conversión de frecuencia a tensión.	79
Figura 31. Voltaje de salida del convertidor de frecuencia a voltaje.	80
Figura 32. Gráfica de resultados altura y voltaje en lectura del sensor LSD.	84
Figura 33. Partes de la planta.	96
Figura 34. Diagrama P&ID de las PP. Tomado de: [1].	98
Figura 35. Piloto VAC encendido.	99
Figura 36. Piloto VDC encendido.	99
Figura 37. Sensor de presencia BERNSTEIN KCN-T18PS.	100
Figura 38. Sensor de presencia KG0010.	100
Figura 39. Borneras para alimentación.	101
Figura 40. Tablero de activación de actuadores.	101

Figura 41. Ubicación de los sensores capacitivos en el tanque de procesos T2.	102
Figura 42. Ubicación de los sensores capacitivos en el tanque de procesos T1.	102
Figura 43. Tanque de procesos T2.	103
Figura 44. Testigos de sensores capacitivos en tablero.	103
Figura 45. Tanque T1.	104
Figura 46. Electroválvula proporcional.	104
Figura 47. Electrobomba EB2.	105
Figura 48. Electroválvula ON/OFF.	106
Figura 49. Válvula manual VM1.	108
Figura 50. Válvula VM2.	109
Figura 51. Borneras de sensores en tablero.	110
Figura 52. Sensores de caudal POW110DB3.	111
Figura 53. Sensores de caudal vórtex.	111
Figura 54. Sensor de nivel the probe.	112
Figura 55. Sensor the probe con tapa abierta.	113
Figura 56. Sensor de nivel LSD-30.	114
Figura 57. Parte posterior de la PP.	115
Figura 58. Válvula manual VM3.	116
Figura 59. Conexión de 120VAC-60Hz.	117
Figura 60. Gabinete frontal de la PP.	117
Figura 61. Segmentación del cuadro eléctrico.	130
Figura 62. Conexión entre líneas en una misma bornera.	132

Figura 63. Circuito esquemático electrobomba.	133
Figura 64. Circuito esquemático electroválvula ON/OFF.....	133
Figura 65. Circuito esquemático electroválvula proporcional.	134
Figura 66. PCB de tarjeta de potencia.....	134
Figura 67. Alimentación de la tarjeta de potencia.	135
Figura 68. Ubicación de los actuadores en su tarjeta.	136
Figura 69. Explosionado electrobomba.	138
Figura 70. Conexión del interruptor de presión.	139
Figura 71. Circuitos esquemáticos sensores capacitivos.	141
Figura 72. Circuitos esquemáticos sensores no capacitivos.	142
Figura 73. PCB de tarjeta de sensores.....	143
Figura 74. Alimentación de tarjeta de sensores.	143
Figura 75. Ubicación de los diferentes sensores en su tarjeta en las PP.	144
Figura 76. Conexión sensor the probe.	145
Figura 77. Conexión sensor vórtex.....	145
Figura 78. Conexión sensor LSD-30.	146
Figura 79. Conexión sensor KG0010.	147
Figura 80. Conexión sensor Bernstein KCN-T18PS.	147
Figura 81. Conexión sensor POW110DB3.....	148

Lista De Apéndices

Apéndice A.....	90
Apéndice B.....	118

Introducción

El principal motivo para la elaboración del trabajo de grado es la ayuda a la comunidad académica de la Universidad Santo Tomas, especialmente a la facultad de ingeniería mecatrónica, de tal forma que tanto profesores como alumnos puedan hacer uso adecuado de las plantas de procesos del laboratorio de automatización (PP) para la formación y exploración académica.

A lo largo de este año se ha notado que las PP han estado averiadas por el mal uso y su no operación por un tiempo prolongado. Estas averías abarcan no sólo su parte física sino también su parte funcional. Se reconoce así la necesidad de hacer un diagnóstico de las PP, identificar la naturaleza de sus fallas y poner en marcha una de ellas para el disfrute de la facultad.

En aras de conseguir este fin, se recurrirá a la literatura relacionada que, sin embargo, es limitada: sólo se cuenta con los manuales proporcionados por profesores y dos publicaciones relacionadas con la construcción de las plantas. Además, esta información se complementa con la teoría general asociada con el mantenimiento, con *datasheets* de los instrumentos y conocimiento general de electrónica e hidráulica.

1. Manual De Operación Y Manual De Mantenimiento De Una Planta de Procesos Del Laboratorio De Ingeniería Mecatrónica

1.1 Planteamiento Del Problema

Las plantas de procesos que se encuentran en el laboratorio de automatización tienen varios años de uso. En dicho laboratorio han estado a disposición de los estudiantes y profesores de ingeniería mecatrónica durante un largo plazo. Estas plantas, al ser frecuentemente usadas y probadas, con el paso del tiempo han tenido deterioro, lo cual hace que el funcionamiento de los sensores y actuadores haya decaído y que, hoy en día, estos componentes no estén funcionando de manera correcta.

Se plantea, desde una visión de mejoramiento, que dichos actuadores y sensores funcionen de manera óptima. Con este fin en mente, se realizará un diagnóstico de todos los elementos de dichas plantas, con los objetivos de elaborar los respectivos manuales de operación y de mantenimiento y, luego, poner en marcha una de ellas.

El manual de operación mostrara cuál es la manera correcta de usar las plantas, con el propósito de que los errores del pasado no ocurran nuevamente. Así mismo, el manual de mantenimiento servirá para definir claramente cómo se diagnostica la planta, cómo repararla en caso de ser necesario y cómo conservarla sin que se deteriore de manera rápida.

Todo esto se hará con el fin de demostrar que las plantas pueden tener una vida útil más larga, con mejor uso y mayor aprovechamiento a nivel académico en la facultad de ingeniería mecatrónica.

En términos concretos, en el transcurso de este documento se mostrará de forma ilustrativa la planta y de forma detallada el proceso seguido para diagnosticar fallas y reparar diferentes elementos. De acuerdo con esto, este proyecto de grado y los manuales que se van a generar como apéndices a éste servirán como referencia para próximas investigaciones y trabajos relacionados con el tema, constituyendo un aporte teórico y práctico para éstas.

1.2 Justificación

La parte práctica es un complemento de importancia trascendental en el proceso de formación de los programas de Ingeniería Mecatrónica y la Especialización en Automatización Industrial ofertados por la Universidad Santo Tomás. Con el propósito de enriquecer esta parte, fueron concebidas las PP que muestran a escala de laboratorio un proceso en el que se tiene control de variables como temperatura, nivel y caudal a través de instrumentación electrónica.

Sin embargo, el estado actual de estas plantas es tal que se encuentran fuera de funcionamiento, razón por la que un aporte importante a la mencionada parte práctica se pierde como parte del proceso de formación de los programas enunciados antes.

Por tanto, este proyecto de grado es de vital importancia para estudiantes y profesores que utilizan las plantas, debido a que en la actualidad no se cuenta con una base para la operación, uso y reparación de las PP, cosa que constituye una situación problemática que pretende ser solucionada a partir de la generación y desarrollo de este trabajo. A partir de lo anterior, se espera no sólo que puedan ser devueltas las PP a su operación normal, sino también mitigar la

probabilidad de que en el futuro vuelvan a fallar y, en el hipotético caso de que ello ocurra, que se cuente con insumos suficientes para realizar el diagnóstico y reparación de las fallas respectivas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Crear un plan de mejoramiento que tenga en cuenta las PP del laboratorio de automatización para el avance de los procesos que allí tienen lugar.

1.3.1 Objetivo Específicos

- Realizar un diagnóstico general de los cuatro módulos del laboratorio de automatización, para identificar cuáles de sus elementos están fallando y conocer su estado.
- Generar un manual de operación en el que se establezcan los pasos a seguir para poner en funcionamiento los bancos en cualquiera de sus condiciones de operación, de manera que los usuarios puedan aprovecharlos de forma adecuada.
- Desarrollar un manual de mantenimiento, en el que se especifiquen las actividades necesarias para la identificación de fallas en los bancos y cómo proceder para su reparación, de manera que los encargados de turno del laboratorio tengan una referencia para la conservación y arreglo de las PP.
- Poner en funcionamiento una de las PP del laboratorio de automatización a través de la ejecución de actividades de mantenimiento sobre ésta.

1.4 Aportes Del Trabajo

Con el desarrollo de este trabajo de grado se entregará a la facultad de ingeniería mecatrónica una PP funcional, de tal forma que pueda ser aprovechada de manera inmediata por sus estudiantes y docentes. Adicionalmente, se entregan manuales de operación y de mantenimiento generales de las PP para garantizar su correcto funcionamiento y uso, mitigando los riesgos de que se registren nuevas averías en ellas.

2. Marco de Referencia

2.1 Antecedentes

Al abordar la literatura sobre la construcción de las plantas se evidencia que se cuenta con muy pocas referencias bibliográficas. Esta situación se debe, esencialmente, a que la construcción de las PP estuvo a cargo de estudiantes de la Universidad Santo Tomás de Aquino seccional Bucaramanga, razón por la que sólo se encuentran tres tesis sobre dicho tema. Dos de estas tesis son las que se estarán presentando en los antecedentes [1] y [2]. Se destaca, sin embargo, que en la segunda de las tesis solo fue entregado el dispositivo, pero no se cuenta con soporte escrito, razón por la, ésta no servirá como referencia para el desarrollo de este proyecto de grado.

2.1.1 Tesis Estudiantes

En el año 2017, estudiantes de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga observaron la importancia de diseñar una nueva PP con materiales que ya se habían tenido para

bancos adquiridos por la misma universidad en 2004. Todo esto, porque las PP adquiridas originalmente estaban averiadas o carecían de algunos de sus componentes, al punto que sólo funcionaba una de las cuatro que se tenían. Lo anterior constituyó la principal motivación para diseñar unas nuevas PP destinadas al uso de los estudiantes, con lo que se quería ayudar a la formación académica de ellos. Los autores, además, manifiestan que no hay documentación de las PP. Cabe mencionar que un aporte de esta tesis fue la propuesta de agregar el caudal como una nueva variable de medida [1].

Según Peñaranda [1] se debe concentrar el esfuerzo en el diseño y se destaca la importancia de crear plantas pilotos primero, con el propósito de mitigar las fallas que puedan tener. En este caso se diseñaron modelos CAD con cuatro prototipos sencillos y cuatro prototipos dobles, cuyo fin era corroborar cuál era el mejor diseño para la nueva planta a crear, mejorando así los prototipos creados. Se debe aclarar que cada vez que se diseñaba un nuevo prototipo, éste era basado en la corrección de fallas del anterior, metodología que fue seguida primero para los modelos simples y luego para los modelos dobles.

Luego del diseño se creó un plan para generar las tarjetas de sensores y potencia, teniendo en cuenta los consumos de potencia de cada uno de sus componentes y, por último, se hizo la adecuación del gabinete eléctrico conforme a lo anteriormente nombrado. Después de lo anterior, se generó la siguiente documentación: Practicas de laboratorio, manual de usuario, dossier técnico de la planta [1].

En el 2019, con el incremento de estudiantes en la carrera de ingeniería mecatrónica en la USTA seccional Bucaramanga, la facultad se propuso aumentar el número de PP para los

laboratorios. Según Ardila [2], tomando como base las PP creadas en 2017, se generó un mejor diseño modelo para ellas. No obstante, las mejoras aplicadas no fueron en la parte funcional, sino puramente estéticas. Es de aclarar que también se generaron 3 prototipos de modelos CAD teniendo un criterio de selección por medio de una encuesta en la cual participaron los estudiantes y profesores. Como nuevo aporte, además, se diseñó un nuevo gabinete eléctrico para la PP. Con toda la información recopilada se generaron, además, guías de laboratorio y manual de usuario y dossier técnico.

Si se comparan las plantas de procesos construidas según todo lo anterior, la diferencia que se puede notar, en primer lugar, tiene que ver con que la construida en 2019 tiene aspectos físicos diferentes a la creada en 2017; en cambio, la funcionalidad siempre fue la misma en ambos casos, aunque las guías de laboratorio, el manual de usuario y el dossier técnico fueron distintos.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 ¿Qué Es El Mantenimiento?

Habitualmente se entiende como mantenimiento toda actividad o conjunto de actividades que estén encaminadas a que las propiedades físicas de una institución o proceso productivo, es decir, sus equipos, máquinas, componentes e instalaciones estén en condiciones de operar de acuerdo con sus requerimientos de diseño, construcción, instalación y puesta en marcha en forma satisfactoria y con un costo razonable.

Así mismo, esta definición implica un control constante de la operación de las propiedades físicas, con las consecuentes tareas de revisión y reparación necesarias que son ejecutadas con el acompañamiento de una buena labor administrativa y operativa, todo en aras de cumplir los objetivos de indicadores de desempeño y/o de gestión de la organización.

2.2.2 Definiciones

En este punto resulta adecuado introducir las definiciones de algunos términos que son habitualmente empleados en el área temática del mantenimiento [3].

Accesorio. Elemento que forma parte de una máquina o sistema y sirve como complemento para ella o él.

Ciclo de vida. Periodo de tiempo durante el que se espera que un bien o activo esté en capacidad de operación. Abarca desde su adquisición hasta su disposición final o sustitución.

Componente/pieza. Dispositivo que puede formar parte de un circuito eléctrico, electrónico o mecánico. Constituye la mínima unidad de clasificación de los activos físicos sobre los que se aplican actividades de mantenimiento.

Confiabilidad. Probabilidad de que un equipo, máquina o sistema sea capaz de cumplir ciertas funciones específicas requeridas bajo un conjunto de condiciones de operación dadas y en un tiempo determinado.

Disponibilidad. Función asociada al porcentaje de tiempo en el que un equipo o máquina se halla en condiciones de cumplir las funciones para las que está destinado. Esto no implica que el activo esté funcionando, sino que se encuentra en capacidad de funcionar.

Equipo. Conjunto total de máquinas que son necesarias para cumplir un objetivo.

Evento de falla. Situación anormal de carácter técnico detectada en un equipo.

Falla. Conjunto de circunstancias que interrumpen la capacidad de un equipo para cumplir la función para la cual fue diseñado o para la que es requerido.

Función. Las expectativas que se tienen para un equipo de acuerdo con sus estándares de diseño y de desempeño. También puede entenderse como el servicio y/o utilidad que presta un sistema, equipo o componente.

Inspección. Actividad propia del mantenimiento preventivo, que suele tener corta duración, realizarse con una periodicidad dada y que se sirve de instrumentos de medición o los sentidos del ser humano, con el objeto de verificar el buen funcionamiento del equipo y su estado real comparándolo contra una norma o patrón exigido sin interrumpir su operación normal.

Lubricación. Actividad frecuente en el mantenimiento preventivo que consiste en la adición de un lubricante entre dos superficies, cuyo propósito es minimizar el contacto que existe entre ellas y, de esta forma, mitigar su desgaste.

Mantenibilidad. Medida de la facilidad o dificultad para ejecutar tareas de mantenimiento en un equipo o máquina, cuyo fin es devolverlo a sus condiciones de operación en el menor tiempo posible siguiendo una serie de procedimientos definidos.

Mantenimiento en operación. Acción de mantenimiento que se puede efectuar mientras el equipo o sistema se halla en servicio.

Mantenimiento en parada. Acciones de mantenimiento que, para su ejecución, requieren que el equipo o máquina esté fuera de servicio.

Máquina. Combinación de piezas de materiales que tienen funciones definidas y tienen la facultad de transmitir o transformar energía.

Mecanismos. Combinación de piezas de materiales, cuyas partes tienen movimientos relativos con restricciones definidas.

Mecanismo de falla. Proceso fisicoquímico que produce un evento que produce la falla.

Parámetro. Variable por cuantificar o medir.

Parada general. Evento programado por un tiempo definido y con cierta periodicidad en la que a un conjunto de activos se les aplica una serie de revisiones, reparaciones, actividades de mantenimiento, cambios o mejoras.

Pronóstico. Análisis de síntomas de daños que pretenden predecir la condición futura del equipo y su vida útil restante.

Reparación. Restitución de un elemento a una condición admisible de utilización a través del arreglo o reposición de las partes desgastadas, consumidas o dañadas.

2.2.3 Clasificación Del Mantenimiento

Como principales clases o tipos de mantenimiento cabe destacar las más comunes e implementadas con mayor frecuencia, a saber, el mantenimiento correctivo, el preventivo y el predictivo.

2.2.3.1 Mantenimiento Correctivo. A este tipo de mantenimiento también se le suele conocer como mantenimiento reactivo, precisamente por su naturaleza reactiva, dado que se aplica cuando la máquina deja de operar por haberse presentado un evento de falla o avería, con el fin de restablecer su funcionamiento, a la vez que se procura afectar tan poco como sea posible la productividad. Lo más usual es que se repare o reemplace el componente dañado.

Entre las ventajas más destacables de este tipo de mantenimiento se encuentran que no implica una inspección previa o reparación alguna durante el desgaste de los elementos, sino hasta el momento que se produjo la falla. Esto se traduce en una reducción de costos asociada a que las labores a realizar antes de la falla son nulas, pero se debe tener en cuenta que también los tiempos de reparación pueden influir de manera importante en la producción de una planta o proceso, cosa que puede generar costos aún mayores.

En la práctica el personal encargado de las reparaciones debería tener presente que las actividades deberían ser efectuadas con rapidez y de forma segura, garantizando la menor pérdida de productividad posible.

Se identifican dos clases o tipos de mantenimiento correctivo [4]:

Mantenimiento correctivo no programado o contingente. Tiene lugar cuando aparece la falla en el equipo o máquina. Su característica de contingente indica su urgencia o importancia, por lo cual abarca actividades que deben aplicarse de forma inmediata o, al menos, tan pronto como sea posible. Es recomendable que las actividades asociadas a este

tipo de mantenimiento tengan como objetivo principal restablecer el servicio u operación del equipo, garantizando su eficiencia o calidad y que se definan como trabajos urgentes.

Mantenimiento correctivo programado o planificado. Se efectúa cuando un equipo o máquina falla y su reparación no es urgente, sino que puede esperar cierto tiempo, de manera que es posible programar la reparación en los días próximos, dado que la producción no se ve comprometida por la falla en el corto plazo y se prefiere administrar los recursos de forma eficiente, considerando las prioridades de la planta. Es recomendable para recursos no vitales o importantes, o que se consideren triviales.

2.2.3.2 Mantenimiento Preventivo. Por otra parte, el mantenimiento preventivo se basa en una serie de labores o actividades que se planifican para llevar a cabo dentro de periodos definidos, con el propósito de prevenir la ocurrencia de fallas. Sus principales actividades abarcan la limpieza, la lubricación, la sustitución programada de piezas y los ajustes en los sistemas. La periodicidad de estas actividades se controla con base en el tiempo y suelen incluir también inspecciones, toma de medidas y control de las condiciones de los sistemas.

Los objetivos más importantes que se persiguen con este tipo de mantenimiento son aumentar la disponibilidad y mejorar la confiabilidad de los equipos o máquinas. Para la consecución de estos objetivos, un plan de mantenimiento preventivo cuenta con las fases de:

Planificación: consiste en las actividades por desarrollar y los recursos tanto humanos como físicos y temporales a utilizar.

Programación: contienen la definición del día, hora y lugar donde serán desarrolladas las actividades.

Ejecución: realización de las actividades según lo definido en las etapas anteriores.

Control: verificación y validación de las actividades implementadas.

2.2.3.3 Mantenimiento Predictivo. Se trata de un tipo de mantenimiento en el que se evalúa la relación de parámetros físicos con el desgaste real o el estado de una máquina, para de esta forma conocer la condición operativa de los equipos, todo con el fin último de optimizar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos sin elevar el costo de mantenimiento.

La idea general del mantenimiento predictivo es medir, seguir y monitorear parámetros y circunstancias de operación de una máquina, equipo o instalación para presagiar el momento futuro de falla, de tal manera que éste pueda preverse y los componentes que van a fallar puedan ser reemplazados justo antes de que fallen a través de acciones de pre-alarma y de actuación.

Usualmente consta de una serie de pruebas de carácter no destructivo orientadas a la detección de signos de advertencia que indiquen que alguna de las partes del equipo analizado no está trabajando de forma adecuada. En caso de que en estas pruebas se detecten irregularidades, se programan intervenciones.

Algunos de los métodos de inspección o aplicaciones predictivas más usuales son los siguientes:

Análisis de vibraciones mecánicas. Teniendo en cuenta que las vibraciones mecánicas pueden generar el incremento de esfuerzos y tensiones, pérdidas energéticas, desgaste de materiales, aumento de la fatiga y ruidos molestos, a través de esta técnica se busca caracterizar las amplitudes preponderantes de las vibraciones localizadas en el componente, elemento o máquina. Así, se procura definir las causas de la vibración y, por ende, ejecutar las oportunas correcciones a los problemas que representan.

Análisis termográfico. Utilizan las cámaras termográficas para detectar puntos calientes, partiendo del hecho de que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar.

Uso de boroscopias. Empleado generalmente en soldaduras, consiste en un examen visual complementado con instrumentos de amplificación, grabación y registro.

Análisis de aceites. Como su nombre indica, se busca establecer el estado de degradación del aceite lubricante a través de la identificación de contaminantes o partículas de materiales en su interior. De esta forma se puede establecer si es necesaria la sustitución del lubricante o el estado de desgaste de las superficies que son separadas por éste.

Análisis de ultrasonidos. Hay múltiples fenómenos que van acompañados de emisión acústica por encima de las frecuencias del rango audible. A través de estas actividades se pueden detectar fugas, verificar purgas de vapor, detectar fallos, ensayar estanqueidad, verificar el funcionamiento de válvulas, entre otros.

Análisis de humos de combustión. En ellos se utiliza un elemento sensor capaz de medir la concentración en los gases de escape de un número determinado de compuestos gaseosos

para así identificar procesos de combustión incompleta y predecir la falla en sistemas como turbinas a gas o cámaras de combustión.

2.2.4 Planeación Del Mantenimiento

2.2.4.1 Algunas Generalidades De La Planeación Del Mantenimiento. La planeación está íntimamente relacionada con el concepto de programación, que se puede denominar el proceso a través del que se acoplan actividades por realizar en un orden secuencial y con tiempos definidos, tanto de su duración como de su periodicidad.

Por otra parte, se destaca también que los pasos por seguir para la programación son:

- Clasificar las órdenes de trabajo en desarrollo por área, por particularidad y por locación.
- Ordenar las órdenes en función de su prioridad.
- Listar las labores pendientes y las ya realizadas.
- Establecer la duración estimada de las actividades.
- Programar trabajos de limpieza y orden.
- Emitir programas de trabajo con periodicidad diario, semanal o quincenal, según corresponda.
- Definir el responsable de la programación.

2.2.4.2 Órdenes De Trabajo. Se trata de un documento que sirve de soporte para las diferentes actividades de mantenimiento que se realizan en el departamento y su utilidad se halla en servir como mecanismo de registro del sistema de mantenimiento. Usualmente, entre la información que contiene se incluye [3]:

- Tipo de mantenimiento (correctivo, correctivo programado, preventivo, predictivo)
- Trabajos realizados.
- Costos realizados
- Tiempos de duración.
- Tareas específicas desarrolladas.
- Fechas de trabajos realizados.
- Historial.
- Trabajos pendientes.
- Fallas.
- Recursos humanos.
- Materiales utilizados.

De forma adicional, hay información que es útil incluir con el fin de contener datos históricos que aporten a la gestión del mantenimiento como lo son [3]:

- Número consecutivo.
- Categoría de la labor por realizar.
- Prioridad.
- Historial de la máquina o equipo.
- Instrumentos y si funcionaron bien o mal.

- Tiempo de parada de la máquina o equipo.
- Tiempo real del trabajo realizado hasta la puesta en marcha.

2.2.4.3 Manual De Mantenimiento. Es un documento en el que, a través de su contenido, se debería reflejar la misión, visión, política y filosofía de la organización e incluir aspectos claves para el mantenimiento de un sistema como pueden ser sus procedimientos de trabajo, instructivos de operación, instructivos de medición e instructivos de control.

De esta forma, se busca facilitar una óptima planificación y un eficiente mantenimiento, contribuir al propósito de mejoramiento y optimización de los sistemas que hacen parte de la organización, aportar al cuidado de la integridad física de los empleados, entre otros aspectos beneficiosos que implica.

Una guía de la estructura que podría tener un manual de mantenimiento se presenta a continuación [3]:

- Introducción.
- Organización de la empresa.
- Organización del departamento de mantenimiento.
- Políticas.
- Objetivos.
- Metas.
- Responsabilidades y perfiles de los cargos.

- Entrenamiento, formación y capacitaciones.
- Descripción de los procesos y de los equipos o maquinarias.
- Administración y control.
- Fuentes de información.
- Flujo de información en diagramas esquemáticos.
- Documentos como fichas técnicas de máquinas o equipos.
- Indicadores de desempeño o de gestión.

2.2.5 Control Del Mantenimiento

El control, aplicado mediante indicadores de gestión, constituye el medio para el mejoramiento del proceso de mantenimiento, pues permite evaluar qué tanto se desvían estos indicadores de las metas, de forma que se obtenga una retroalimentación de los procesos y la implementación de medidas consecuentes.

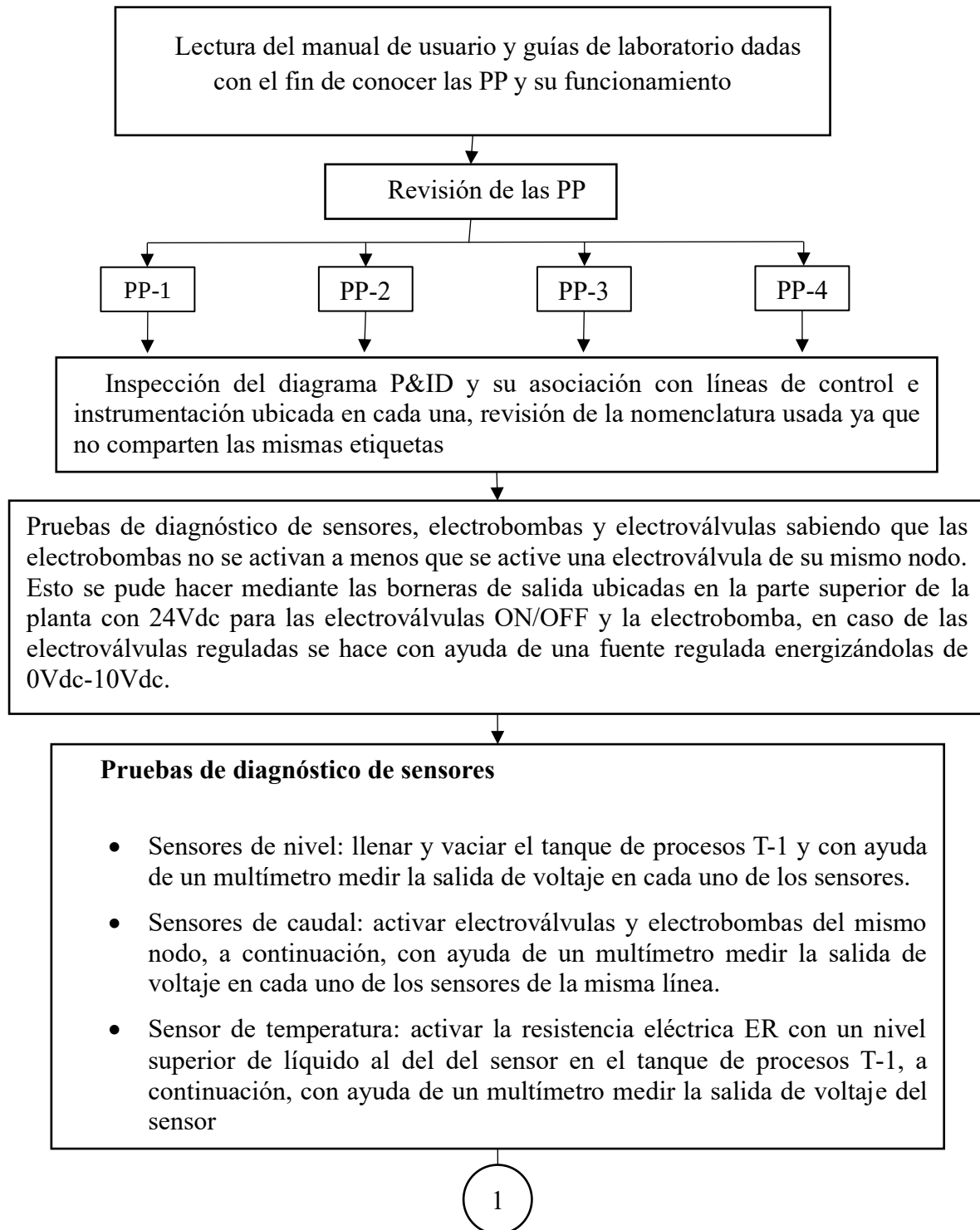
Para el caso particular de una organización dada, ésta debe desarrollar sus propios indicadores de gestión enfocados en las metas que pretenden alcanzar y, por consiguiente, hacer sus procesos de retroalimentación en función de los objetivos perseguidos. En términos concretos, los indicadores de gestión fomentarán la identificación de oportunidades de mejora, las desviaciones existentes con respecto a las metas propuestas y los aspectos positivos que deberían conservarse.

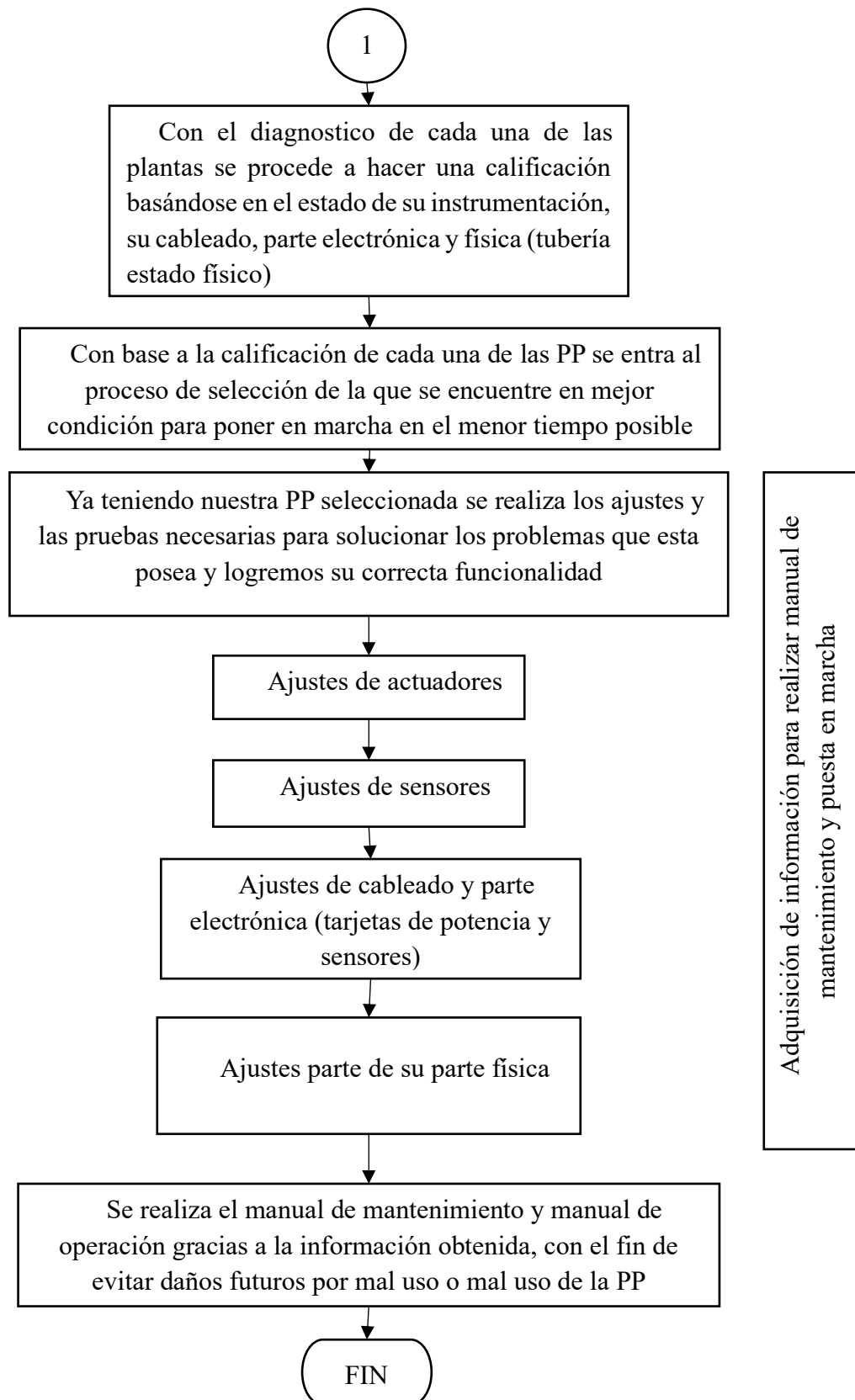
Específicamente, cabe la mención de algunos indicadores de gestión relevantes y usuales [3]:

- Edad de las órdenes de trabajo.
- Mantenimiento planeado.

- Órdenes de trabajo en atraso.
- Órdenes de trabajo aplazados.
- Backlog.
- Efectividad en la programación de horas hombre.
- Relación de órdenes de trabajo correctivos de emergencia versus órdenes de trabajo programadas.
- Cumplimiento de la programación en las órdenes de trabajo.
- Cumplimiento de la programación HH.
- Cumplimiento del programa de monitoreo.
- Disponibilidad mecánica.
- Confiabilidad de equipos.

3. Diseño Metodológico





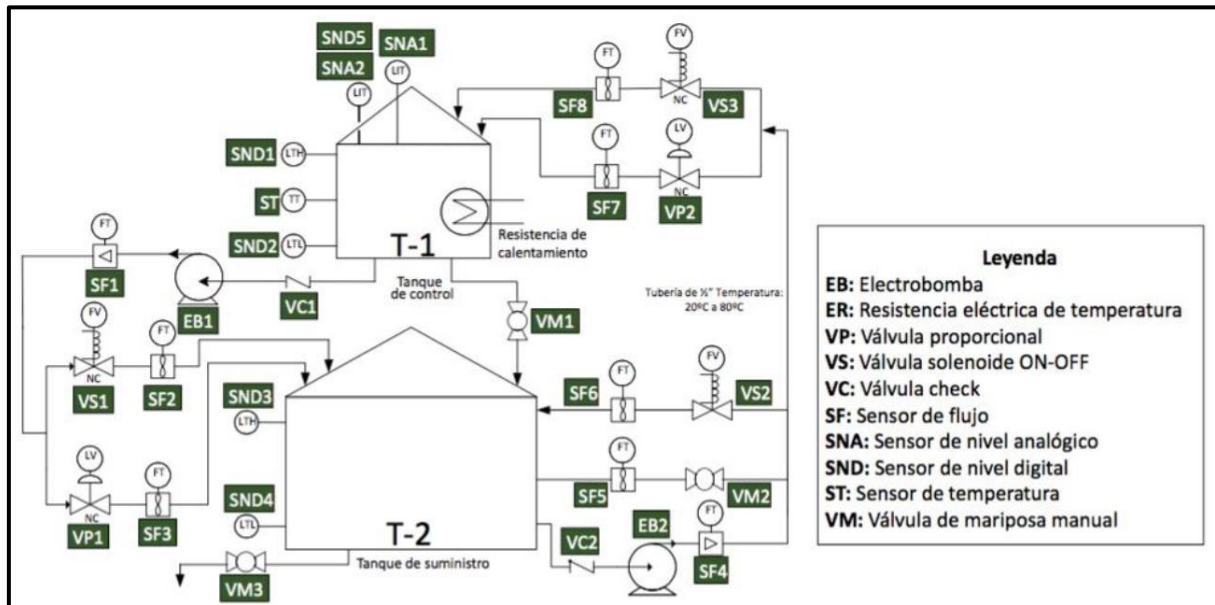
4. Desarrollo

Para el despliegue de la metodología efectuada, este capítulo se estructurará de forma que se inicie con la presentación y descripción del funcionamiento de la planta de procesos en estudio, para luego enumerar las actividades realizadas, esto es, las pruebas diagnósticas ejecutadas, los métodos para encontrar las causas de falla y la información requerida para la posterior generación de los manuales de operación y de mantenimiento del banco.

4.1. Presentación De Las Plantas

Las PP USTA constituyen módulos de laboratorio didácticos y prácticos en los que es posible manipular y estudiar las variables como temperatura, nivel y flujo de agua en un circuito hidráulico por medio de instrumentación de tipo industrial. Estos módulos están constituidos por dos tanques de almacenamiento, dos electrobombas, una resistencia eléctrica y un conjunto de válvulas y sensores que facilitan su correcta operación y, además, la medición de los valores de las variables de estudio.

A grandes rasgos, su funcionamiento consiste en que el agua con que se carga el sistema pueda ser transportada de un tanque a otro mediante las bombas, a través de una línea con regulación de caudal o sin ella dependiendo de si se tiene abierta la válvula solenoide o la proporcional, respectivamente. Esto se ilustra en el siguiente esquema.

Figura 1. Esquema de la planta de procesos USTA.

Tomado de [1].

Dado que la intención del módulo es que el usuario realice prácticas de laboratorio de instrumentación, automatización industrial y control de procesos industriales, las PP cuentan con lazos de control abiertos, de tal manera que los parámetros de operación pueden ser establecidos por el usuario, según sus objetivos específicos.

La figura anterior muestra la totalidad de los elementos que conforman cada PP, información que será útil en las secciones posteriores, en donde se explorarán los métodos de diagnóstico de cada uno de ellos. A continuación, se hace una presentación y breve descripción de los elementos constitutivos de las plantas.

4.1.1 Actuadores

Esta sección, en las siguientes tablas, se dedica a la presentación de algunas características técnicas de los actuadores, esto es, de bombas y válvulas, además de una fotografía que facilita su identificación en las PP.

Tabla 1. Información válvulas solenoide.

	tipo de actuador	válvulas solenoide de 2 vías servoaccionadas (proporcionales)
	marca	danfoss
	serie-modelo	EV260B
	alimentacion	(24) [V DC]
	proteccion	ip67
	temperatura ambiente	(-25 - 50) [°C]
	temperatura fluido	(-10 - 80) [°C]
	viscosidad	max 50cSt

Tabla 2. Información electrobombas.

	Tipo de actuador	Electrobomba
	marca	flojet
	serie-modelo	3526144
	alimentacion	(12) [V DC]
	proteccion	ISO 8846 (protección contra ignición)
	Psi máx. (Bar)	50 (3,4)
	temperatura fluido	(-10 - 80) [°C]
	GPM (LPM)	2,9 (11)
	consumo de amperaje a 10 psi (0,7 bar)	4.4

Tabla 3. Información electroválvula solenoide ON-OFF.

	Tipo de actuador	Electroválvula solenoide ON-OFF
	marca	danfoss
	serie-modelo	EV220B 6-22
	alimentacion	(5 - 24) [V DC]
	proteccion	ISO 8846 (protección contra ignición)
	temperatura ambiente	(max 80) [°C]
	temperatura fluido	(-30 - 1000) [°C]
	viscosidad	max 50cSt

Tabla 4. Información resistencia eléctrica.

	Tipo de actuador	Resistencia electrica
	alimentacion	110 [V AC]
	voltaje de operación	(0 - 10) [V DC]

4.1.2 Sensores

Las características técnicas principales de los sensores, junto con una fotografía para su identificación, son presentados seguidamente.

Tabla 5. Información sensor KG0010.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	KG0010
	SALIDA	NORMALMENTE CERRADO
	ALIMENTACION	20...250 AC/DC
	PRECISIÓN	NA
	PRECISIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	8 [mm]
	PROTECCION	IP67

Tabla 6. Información sensor KCN-T18PS.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	BERNSTEIN
	SERIE- MODELO	KCN- T18PS
	SALIDA	NORMALMENTE ABIERTO
	ALIMENTACION	(12 - 48) [V DC]
	PRECISIÓN	NA
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 70) [°C]
	RANGO DE MEDICION	13,5 [mm]
	PROTECCION	IP65

Tabla 7. Información sensor MBT3560.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE TEMPERATURA
	MARCA	DANFOSS
	SERIE- MODELO	MBT3560
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(10 - 30) [V DC]
	PRECISIÓN	< $\pm 0,5$ % FS (tip.) < ± 1 % FS (máx.)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-50 - 200) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(-50 - 200) [°C]
	PROTECCION	IP65

Tabla 8. Información sensor the probe.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	SIMENS
	SERIE- MODELO	THE PROBE
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(18 - 30) [V DC]
	PRECISIÓN	
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-40 - 60) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,25 - 5) [m]
	PROTECCION	IP65

Tabla 9. Información LSD-30.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	WIKA
	SERIE- MODELO	LSD-30
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(15 - 35) [V DC]
	PRECISIÓN	$\leq \pm 0,5 \%$ del span
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-20 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	
	PROTECCION	IP65 Y IP67

Tabla 10. Información sensor SV4050.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	SV4050
	SALIDA	(4 - 20) [mA] ($Q \text{ [l/min]} = 0,938 \times (I - 4 \text{ mA})$)
	ALIMENTACION	(8 - 33) [V DC]
	PRECISIÓN	Q <50% MEW: <1% MEW / Q> 50% MEW: <2% MW; (agua)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-15 - 85) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,9 - 15) [l/min]
	PROTECCION	IP65

Tabla 11. Información sensor POW110D3B.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	SEED
	SERIE- MODELO	POW110D3B
	SALIDA	Frecuencia de pulso (Hz) en la prueba horizontal = 7.5Q, Q es el caudal en L / min. (Resultados en un rango de +/- 3%)
	ALIMENTACION	(5 - 24) [V DC]
	PRECISIÓN	3% (caudal de 1L / min a 10L / min)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(1 - 30) [l/min]
	PROTECCION	NA

4.2. Pruebas De Diagnóstico De La Instrumentación

Según se mencionó previamente, los elementos constituyentes de las PP fueron puestos a prueba con el fin de verificar su funcionamiento y diagnosticar su estado. En primer lugar, se presentan los métodos de diagnóstico de los actuadores, es decir, las electrobombas, las electroválvulas y la resistencia eléctrica y, luego, se abarcan los sensores de nivel, de caudal y de temperatura.

4.2.1 Electrobombas (EB1 y EB2)

La electrobomba por revisar y una de las electroválvulas asociadas a su línea (es decir, que pertenezca al mismo nodo) deben ser energizadas con fuentes de 24 voltios DC y 10 voltios DC, respectivamente. Luego se debe verificar el cambio en el nivel del líquido de ambos tanques. Por ejemplo, si se desea verificar el funcionamiento de EB2, debe energizarse, además de la bomba,

la válvula solenoide VS3, mientras se observa que el nivel de T2 disminuye a la vez que el de T1 aumenta.

Para el caso particular en que se quiera verificar el funcionamiento de EB2 con la línea que realimenta a T2, se deben energizar EB2 y VS2, pero, en lugar de esperar cambio de nivel en el tanque, lo que debe examinarse es que haya turbulencia en T2, pues está siendo realimentado.

4.2.2 Electroválvulas (VS1, VS2, VS3 y VS4)

En el caso de las válvulas ON/OFF, se sigue un procedimiento similar al que fue descrito en la sección anterior. Se verifica con todas las válvulas, energizándolas en conjunto con la electrobomba de su nodo y revisando el cambio en nivel de los tanques.

Mientras tanto, para las válvulas reguladas, éstas son energizadas en conjunto con la electrobomba de su respectivo nodo y, con la ayuda del multímetro, se toma medida de la salida de voltaje del caudalímetro de esa línea, confirmando que haya cambio de voltaje al variar la tensión de entrada a la válvula.

4.2.3 Resistencia Eléctrica (ER)

Se debe llenar el tanque de suministro T2 manualmente primero, para luego llenar T1 con la alimentación de la bomba EB2 y la apertura de la electroválvula VS3. Dado lo anterior, se energiza con la fuente de 10 voltios DC la resistencia. En este punto se debe confirmar que el testigo de la resistencia, ubicado en la parte superior de la bornera, esté encendido, con lo que se indica su activación.

Además, para verificar el funcionamiento de la resistencia, con la ayuda del multímetro se debe medir la salida del sensor de temperatura TT y revisar que el voltaje aumente a medida que avance el tiempo, cosa que indica un aumento de temperatura en el agua del tanque. Adicionalmente, se deberían poder apreciar pequeñas perturbaciones y aparición de burbujas en el agua que se encuentra alrededor de la resistencia cuando la temperatura sea lo suficientemente alta.

4.2.4 Sensores De Nivel (SNA Y SND)

Para ambos casos, se debe llenar el tanque T2 manualmente y, seguidamente, llenar el tanque T1 encendiendo la bomba EB2 y energizando la electroválvula VS3.

Primero, para el caso del sensor *the probe* (SNA), se debe ver si se encuentra energizado abriendo la tapa situada en su parte superior y observando si la pantalla se encuentra encendida. Por otra parte, para su calibración, con el tanque T1 lleno, se presiona el botón “20” hasta que en la pantalla se pueda leer “c20”, lo cual indica que se asigna esta condición como el nivel más alto de medición. Luego se vacía el tanque con la válvula manual que se encuentra situada debajo suyo y, de manera similar, se presiona el botón “4” hasta que en la pantalla se pueda apreciar “c4”, indicando que éste es el nivel más bajo por medir. Finalmente, haciendo que el nivel del tanque varíe (llenándolo o vaciándolo) y leyendo con el multímetro la salida SNA1 se debe observar que éste varíe proporcionalmente al nivel del agua.

Mientras tanto, para el sensor LSD-30, inicialmente se comprueba que se encuentre energizado revisando que la pantalla ubicada en su parte superior esté encendida. Luego, se varía el nivel del

tanque T1, con el multímetro se mide la salida LIT y deberían ser apreciados cambios en los voltajes de forma proporcional al nivel del agua.

4.2.5 Sensores De Caudal (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, SF6, SF7 Y SF8)

En lo que respecta a sensores de caudal se pueden tener dos casos: los sensores vórtex y los sensores POW110DB3.

Primero, para los sensores vórtex, que son los situados a la salida de cada electrobomba, se debe energizar su respectiva electrobomba asociada y la electroválvula regulada que esté en el mismo nodo. Luego, se varían las tensiones de entrada a la electroválvula, con el multímetro se mide la salida del sensor y se deben apreciar variaciones proporcionales en el voltaje medido.

Por otro lado, los sensores POW110DB3 son los que están ubicados en todas las líneas de la planta, exceptuando las encargadas del vaciado manual de cada tanque. Por esta razón, se tienen tres casos principales: los sensores que están después de las válvulas reguladas; los sensores que están después de las válvulas ON/OFF; y el sensor que se encuentra después de la válvula manual. Se resalta que cada prueba debe hacerse teniendo agua en el tanque de donde se desea extraer con la electrobomba.

El primer caso, esto es, para los sensores posteriores a las válvulas reguladas, consiste en el siguiente proceso: se energiza la electrobomba y la electroválvula que estén en la línea de interés. Después, con el multímetro se mide la salida del sensor y se verifica que existan variaciones en el voltaje a medida que se varían las tensiones de entrada de la electroválvula.

En segundo lugar, para los sensores que están luego de las válvulas ON/OFF, se energiza la electrobomba y la electroválvula que correspondan a la misma línea y, a continuación, se debe

energizar la electroválvula regulada del mismo nodo. Por último, con el multímetro se mide la salida del sensor y se debe observar el cambio inversamente proporcional del voltaje frente a variaciones en la tensión de entrada de la electroválvula.

Al final, para el sensor que se halla después de la válvula manual, se energiza cualquier electroválvula que se halle en el mismo nodo y, una vez más con el multímetro, se mide la salida del sensor y se verifica el cambio de voltaje cuando la apertura de la válvula manual varía.

4.2.6 Sensor De Temperatura (ST)

Esta prueba requiere el llenado manual del tanque de suministro T2 para luego llenar el tanque de procesos T1 con la alimentación de la bomba EB2 a través de la válvula VS3. A continuación, la resistencia se energiza con 10 voltios DC y se mide el cambio de voltaje en la salida del sensor TT con el multímetro.

4.2.7 Sensor De Proximidad

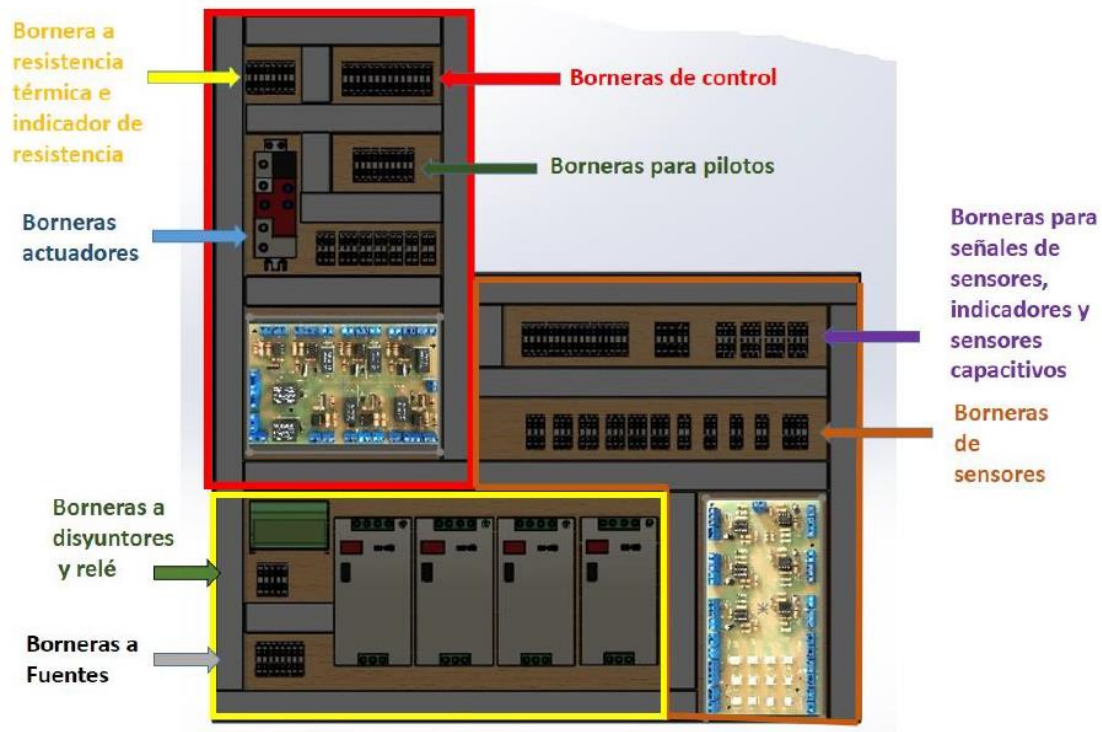
Para su diagnóstico únicamente se debe situar un objeto a menos de ocho milímetros de él y, en el caso particular del KG0010 que es normalmente cerrado, bajo esta condición el testigo debería apagarse. Por el contrario, para el caso del BERNSTEIN KCN-T18PS, que es normalmente abierto, el testigo debería apagarse.

4.3. Revisión De Fallas

Esta sección se dedica a la descripción de los métodos utilizados para revisión de fallas en los elementos principales de las plantas, es decir, en actuadores y sensores. Se verá que en ambos casos puede revisarse, primero, la continuidad de las conexiones de estos elementos y, en caso de que se encuentre que ésta no sea la causante de la falla, se procede a revisar la funcionalidad propiamente dicha del elemento.

La figura siguiente muestra la segmentación del cuadro eléctrico, en donde se puede apreciar claramente la ubicación de las diferentes borneras que se mencionarán a la hora de detallar los procesos de revisión de continuidad.

Figura 2. Segmentación del cuadro eléctrico.



Tomado de [1].

4.3.1 Revisión De Fallas En Actuadores

Si al energizar los actuadores se encuentra que su testigo no enciende, debe confirmarse la continuidad de entradas y salidas de la tarjeta de potencia. Se debe tener presente que, por la configuración propia de las plantas, las electrobombas no se encenderán si la respectiva electroválvula de su mismo nodo no está energizada.

De acuerdo con esto, si se desea comprobar la continuidad en actuadores se debe seguir el siguiente procedimiento, teniendo presente que en cada paso se verifica la continuidad entre los

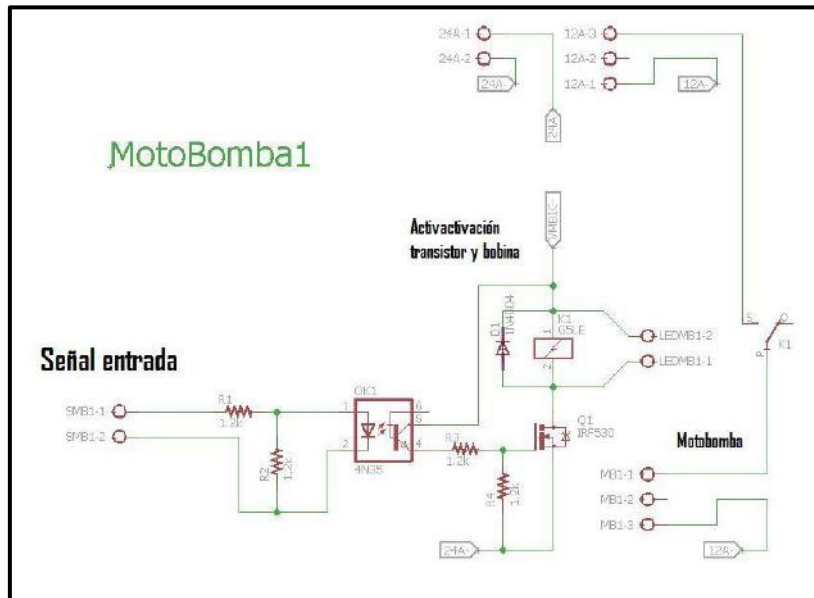
puntos identificados (cosa que se asume en cada punto y, por tanto, se omite su mención). Además, en caso de que no haya continuidad se debe revisar que el cable esté bien conectado y, si esto persiste, se recomienda cambiar el cable:

- Se revisan las etiquetas del testigo del actuador y se busca el número respectivo en la bornera para los pilotos.
- Se busca el otro extremo de la bornera por la misma línea y con el número de la etiqueta allí encontrada (véase figura 3) se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.

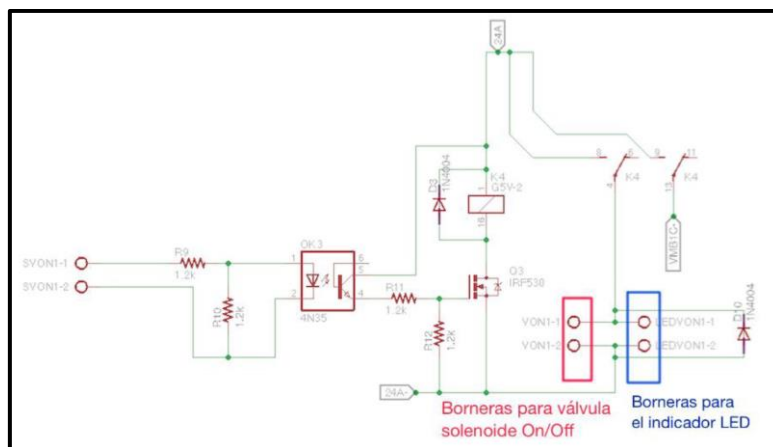
Figura 3. *Conexión entre líneas en una misma bornera.*



- Se identifican las entradas y salidas de cada circuito teniendo en cuenta la representación esquemática correspondiente para cada actuador (figuras 4, 5 y 6), con la ayuda también de la PCB de la tarjeta de potencia (figuras 7 y 8) y que cada uno de ellos tiene una salida al actuador, una salida al testigo y una entrada proveniente de la alimentación.

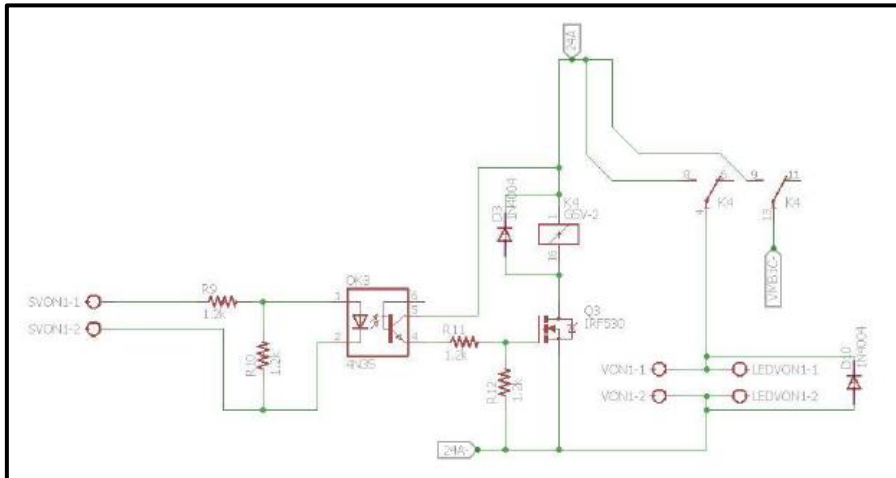
Figura 4. Circuito esquemático electrobomba.

Tomado de [1]

Figura 5. Circuito esquemático electroválvula ON/OFF.

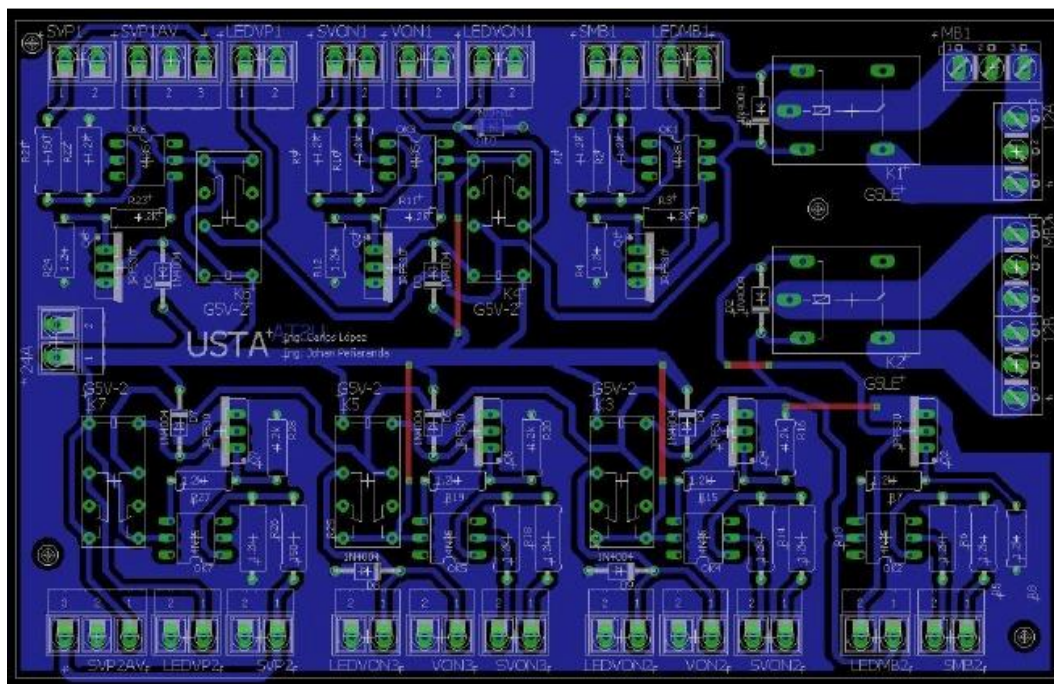
Tomado de [1]

Figura 6. Circuito esquemático electroválvula proporcional. Tomado de [1]

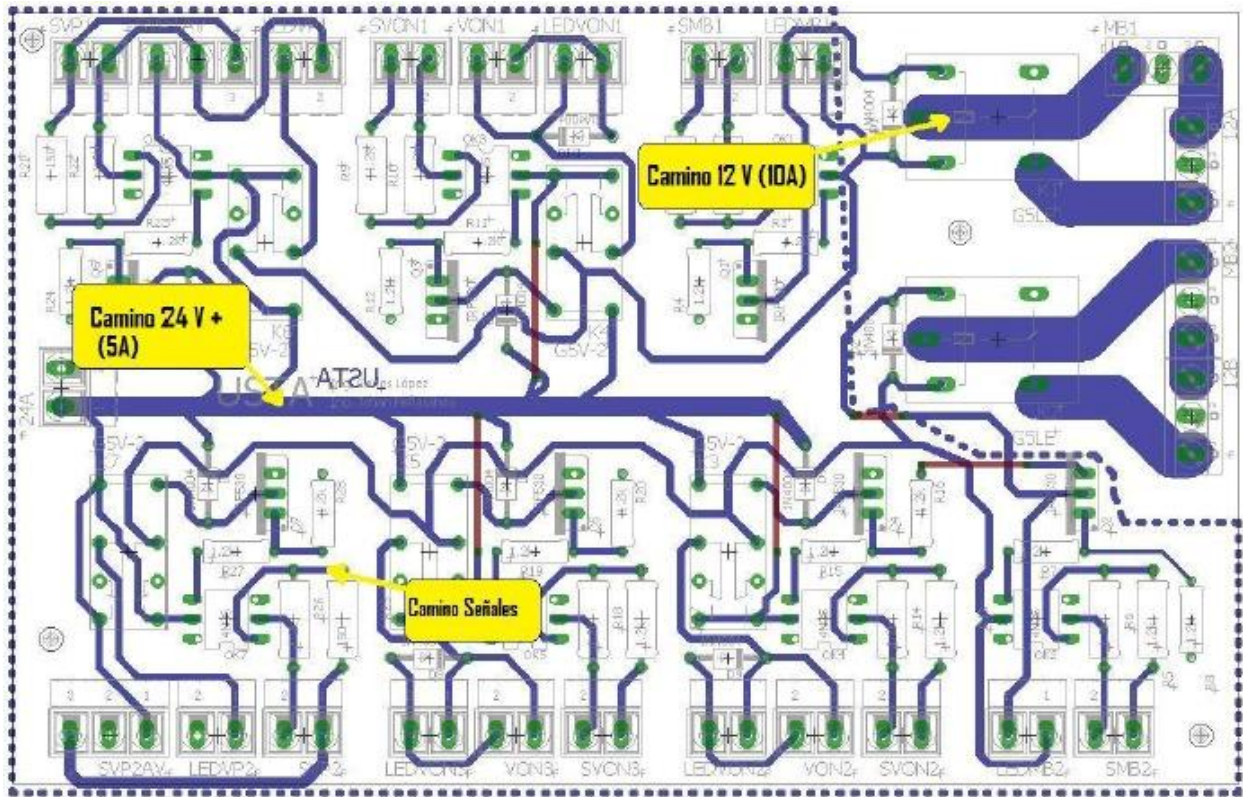


Tomado de [1]

Figura 7. PCB de tarjeta de potencia.



Tomado de [1]

Figura 8. Alimentación de la tarjeta de potencia.

Tomado de [1]

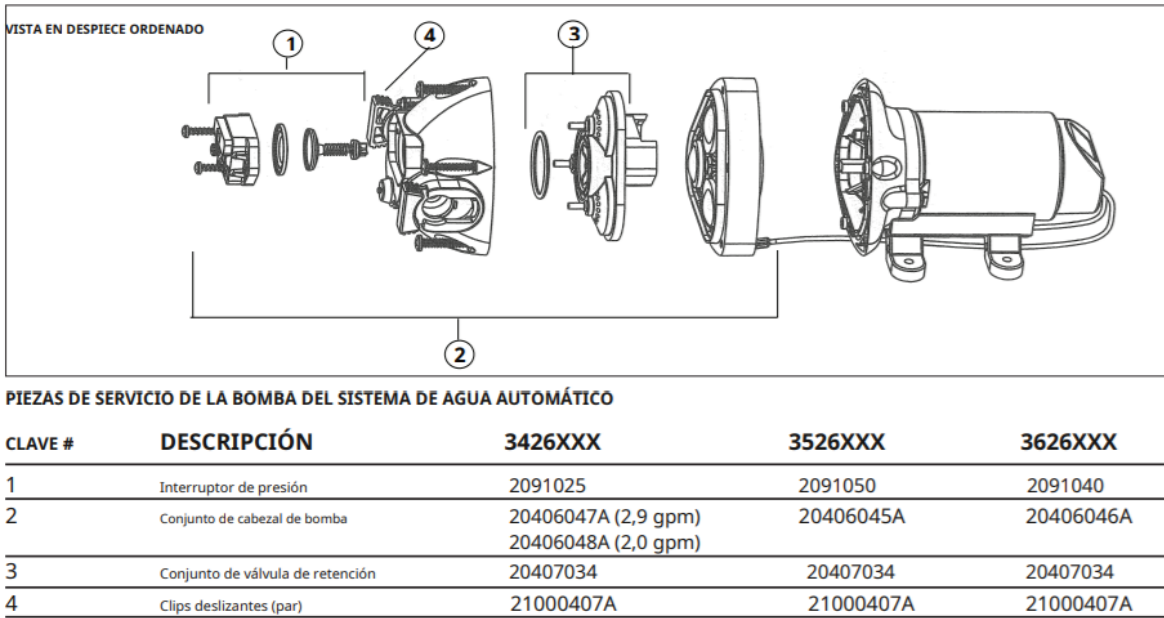
- Tras haber identificado la salida al actuador, con ayuda de las etiquetas se ubica su conexión en la bornera de actuadores.
- En las borneras ubicadas en el tablero para activación del actuador, se revisan los números de las etiquetas y se buscan estos mismos en las borneras de control.
- Finalmente, tal y como se mencionó previamente y de acuerdo con la sección 4-3, se pasa al otro extremo de la bornera y con el número de etiqueta hallado se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.

Si se ha confirmado que la falla no está asociada a problemas de continuidad, se debe revisar el voltaje a la salida del circuito de potencia al actuador con ayuda del multímetro con el propósito de determinar si está energizado correctamente y, por ende, si es el actuador el que se encuentra averiado. En caso de que no se evidencie voltaje, se procede a energizar el actuador manualmente con una fuente regulada, ubicando el negativo a la tierra de la tarjeta de potencia y el positivo a la activación del actuador, dependiendo del voltaje requerido por cada actuador, es decir, 0-10 voltios DC para válvulas reguladas, 24 voltios DC para válvulas ON/OFF y 12 voltios DC para electrobombas. De manera adicional, dependiendo del actuador se debe seguir lo siguiente:

- Para las electroválvulas se debe energizar otra electroválvula y la electrobomba del mismo nodo para luego, usando el multímetro, medir la salida del sensor de la línea de la electroválvula que se desea probar con el fin de saber si hay flujo de líquido o no. En el caso de las reguladas se debe variar el voltaje para confirmar que sea directamente proporcional al voltaje suministrado por la fuente dual, lo cual indicaría que se está regulando correctamente la apertura.
- Para las electrobombas se energiza la electroválvula del mismo nodo y, con una fuente dual, se energiza directamente la motobomba hasta verificar la activación de ella observando la línea correspondiente: si es de llenado del otro tanque, verificar que este proceso inicie y si es de realimentación revisar la turbulencia generada por ésta.

Si, aun después de efectuar todo lo anterior, la electrobomba sigue experimentando problemas, se deben seguir procedimientos adicionales. Para explicar estos procedimientos, considere la siguiente representación esquemática del explosionado de la bomba.

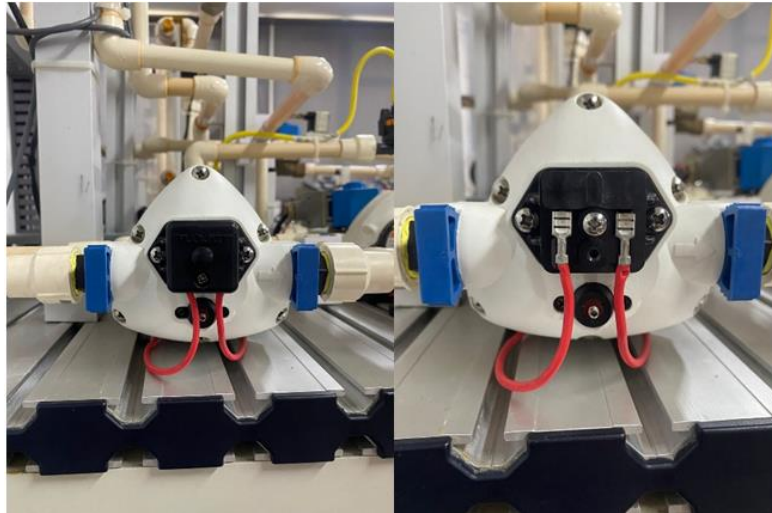
Figura 9. Explosionado electrobomba.



Tomado de: [5]

En caso de que la bomba no encienda se debe retirar el tornillo central de la parte 1 de la figura anterior y revisar que los cables estén bien conectados (ver figura 10). Además, se debe retirar todo el interruptor de presión y verificar su correcta ubicación.

Figura 10. *Conexión del interruptor de presión.*



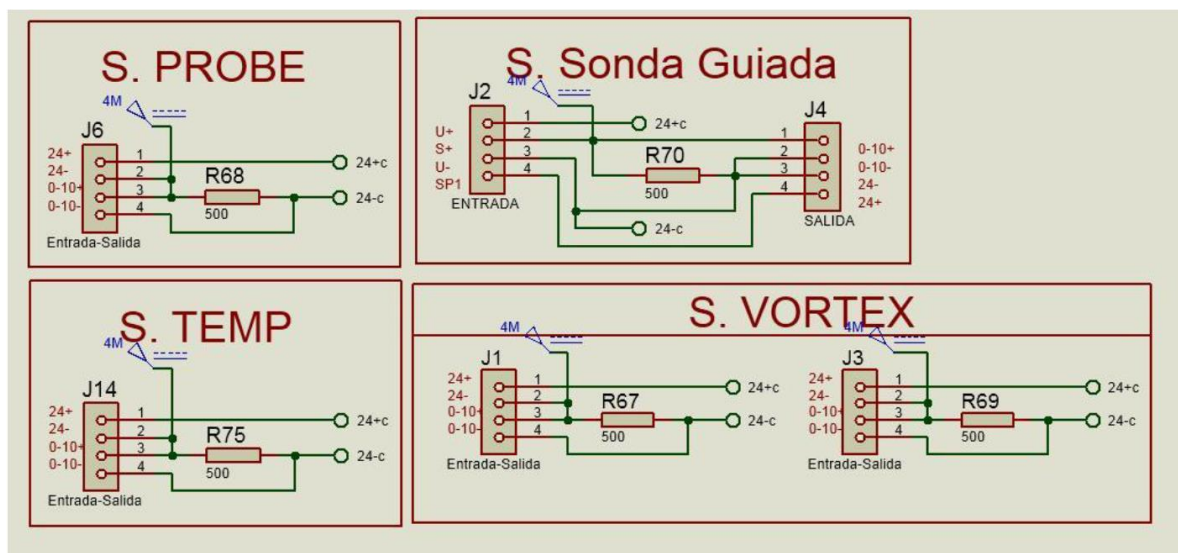
Si, en cambio, no hay flujo o el flujo es poco, es posible que haya obstrucciones en la tubería, rupturas en el casco de la bomba o ruptura del diafragma. Debe confirmarse cuál de estas circunstancias es la causante de la falla. En caso de que exista sospecha de ruptura del diafragma, se debe retirar el conjunto de válvula de retención e inspeccionar que el diafragma esté en buenas condiciones.

4.3.2 Revisión De Fallas En Sensores

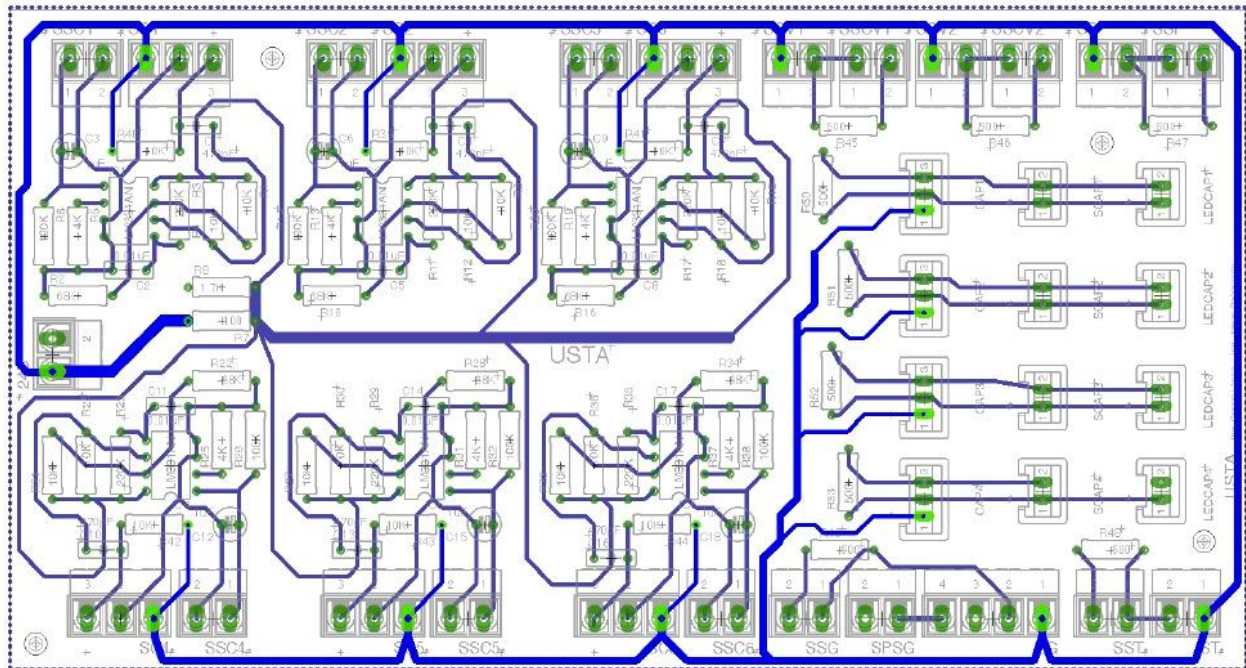
Primero se debe ejecutar una revisión de continuidad en toda la conexión del sensor, para lo cual se deben seguir una serie de pasos, en los que, de manera análoga a lo descrito en la sección anterior, se verifica la continuidad entre los puntos que se van identificando en la medida que se encuentren. Además, en caso de que no haya continuidad se debe revisar que el cable esté bien conectado y, si esto persiste, se recomienda cambiar el cable. Los pasos a seguir son:

- Revisar el número de la etiqueta de la bornera del sensor ubicada en el tablero y buscar este número en la bornera de sensores. Para el caso especial de los sensores capacitivos se revisan las etiquetas de los testigos localizados en el tablero.
- Se busca el otro extremo de la bornera por la misma línea y con el número de la etiqueta allí encontrada (véase también sección 4-3) se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.
- Se identifican las entradas y salidas del circuito dependiendo de qué sensor se está revisando, con ayuda de las representaciones esquemáticas de los circuitos mostradas en las figuras 11 y 12 y de la PCB de la tarjeta de sensores (figuras 13 y 14) y sabiendo que cada circuito tiene dos salidas: una a la señal de medición y otra a la entrada del sensor. En el caso de los sensores de presencia capacitivos, la salida va a los testigos del sensor.

Figura 11. Circuitos esquemáticos sensores no capacitivos.



Tomado de [1]

Figura 14. Alimentación de tarjeta de sensores.

Tomado de [1]

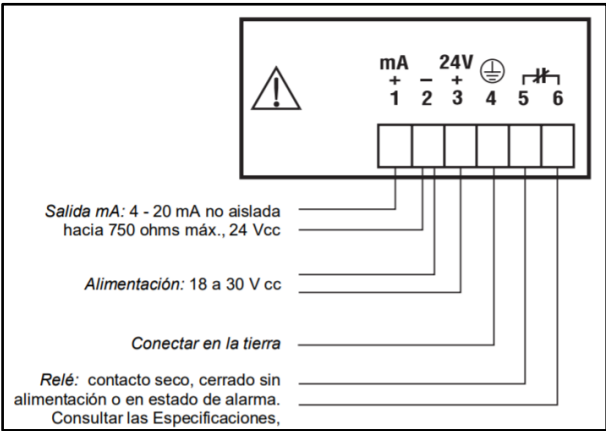
- Identificada la entrada del sensor al circuito, con ayuda de los números de las etiquetas se ubican su conexión en la bornera de sensores.

Una vez revisada la continuidad, se procede a revisar la funcionalidad propia del sensor. Esto se hace dependiendo de la naturaleza del sensor y dependiendo de su lectura.

- Para los sensores *the probe*, MBT3560 y LSD-30 (el esquemático de conexión para cada tipo de sensor se presenta en las figuras 15, 16 y 17), se suelta la bornera de señal del sensor y se conecta a una resistencia de 500 ohmios que, a su vez, se conecta a la tierra de la tarjeta de sensores. Luego, con el multímetro se mide la tensión entre los terminales de la

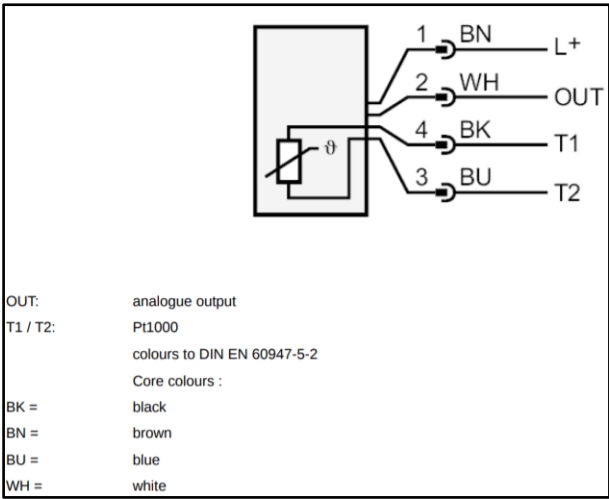
resistencia y se varía el parámetro que mide (caudal, temperatura o nivel según sea el caso) y se debería apreciar un cambio directamente proporcional en el voltaje leído.

Figura 15. Conexión sensor the probe.

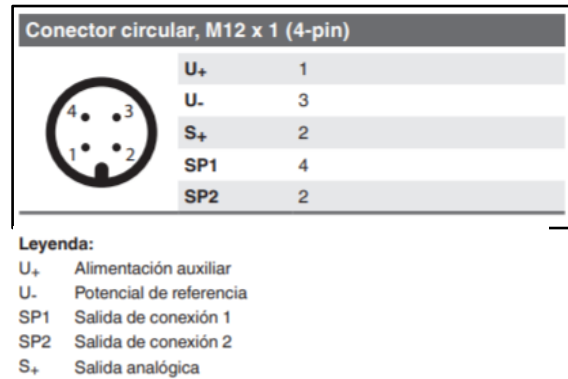


Tomado de [6]

Figura 16. Conexión sensor vórtex.

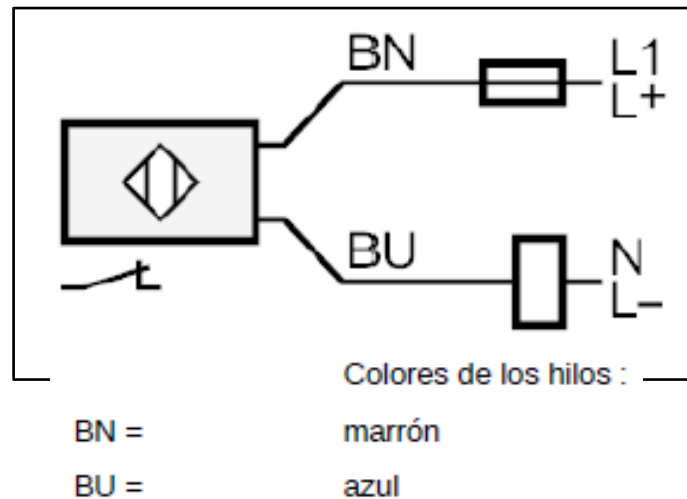


Tomado de: [7]

Figura 17. Conexión sensor LSD-30.

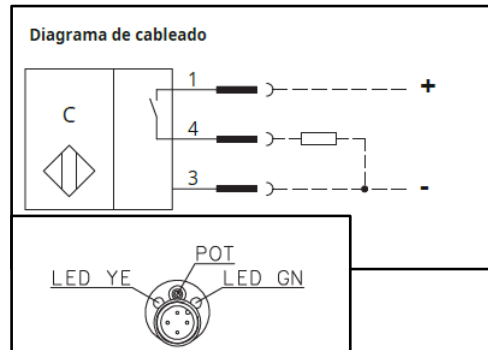
Tomado de: [8]

- Para el sensor capacitivo KG0010 se dispone una resistencia de 1 kilo ohmio entre el cable azul y la tierra de la fuente (ver conexión del sensor en la figura 18). Seguidamente, con ayuda del multímetro se mide el voltaje entre los terminales de la resistencia, colocar un objeto a menos de 8mm del sensor, cambiar la tensión de 0 voltios DC a 24 voltios DC y observar cómo el led verde de la parte posterior del sensor se enciende.

Figura 18. *Conexión sensor KG0010.*

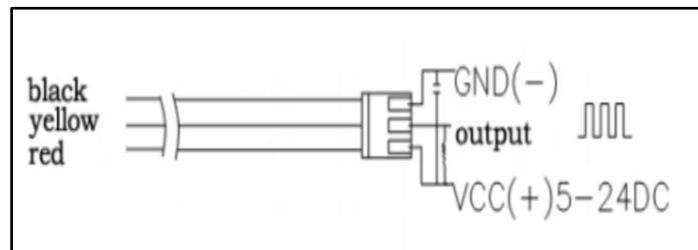
Tomado de: [9]

- Para el sensor capacitivo KCN-T18PS, de manera similar, se pone una resistencia de 1 kilo ohmio entre la salida de señal y el común de la fuente (ver conexión del sensor en la figura 19), para luego, con el multímetro, medir la tensión entre sus terminales. Después se dispone un objeto a menos de 8 mm, cambiar la tensión de 24 voltios DC a 0 voltios DC y observar cómo el led verde de la parte posterior del sensor se apaga.

Figura 19. *Conexión sensor Bernstein KCN-T18PS*

Tomado de : [10]

- En el caso del sensor POW110DB3, se conecta el positivo del osciloscopio a la señal y el negativo a la tierra de la tarjeta de sensores (ver conexión del sensor en la figura 20), se varía el caudal en la línea (tal y como se describió anteriormente) y se debe apreciar un cambio de frecuencia directamente proporcional al cambio del flujo en la línea.

Figura 20. *Conexión sensor POW110DB3.*

Tomado de: [11]

4.4. Diagnóstico General De Cada Planta

Como punto de partida para el diagnóstico general se realiza una inspección visual a cada planta en busca de daños físicos en la estructura (soportes de tubería, perfiles de aluminio, remaches,

fugas en la tubería, fugas en los tanques de procesos, accesorios impresos en 3D y armario eléctrico). A continuación, se hace el diagnóstico de instrumentación según fue descrito en la sección 4.2 y, para aquellos momentos en que se encontró algún tipo de falla en el funcionamiento de la planta se siguieron los pasos expuestos en la sección 4.3. Tras realizar lo anterior, se encontraron los resultados que se presentan seguidamente, que no fueron documentados mediante fotografías, pero que fueron comunicados al coordinador de laboratorios de ingenierías y que, de esa manera, sirvieron como punto de partida para la contratación que se ejecutó para la reparación de las PP.

4.4.1 Planta 1

A partir de la inspección visual se encontraron daños físicos en:

- Piezas impresas en 3D.
- Soportes de tubería.
- Remaches del soporte posterior del sensor de nivel *the probe*.
- Fugas en el tanque de procesos T1.
- Tubería con fugas en las uniones con otros acoples, debido a la cristalización del pegante usado para unirlos.

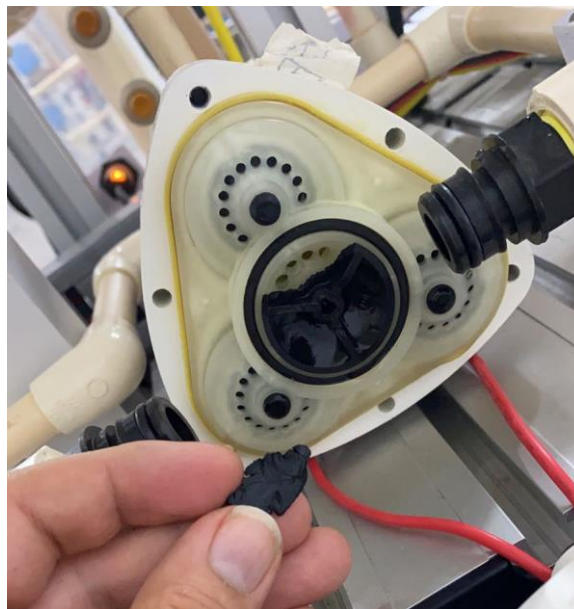
Luego se realizó el diagnóstico de instrumentación que arrojó los siguientes resultados:

- La electrobomba EB2 enciende, pero en ocasiones no genera flujo.
- El sensor de temperatura entregaba siempre una lectura de 0 voltios DC.

Tras el diagnóstico, con el procedimiento de revisión de fallas se encontró que:

- En la electrobomba EB2, particularmente en el conjunto de válvula de retención se generó un daño irreparable en la membrana, debido al prolongado tiempo sin estar en funcionamiento.

Figura 21. *Daño de la membrana en la bomba EB2 de planta 1.*



- El sensor de temperatura estaba desconectado de la bornera de sensores, cosa que impedía su lectura.

4.4.2 Planta 2

A partir de la inspección visual se encontraron daños físicos en:

- Piezas impresas en 3D.
- Soportes de tubería.

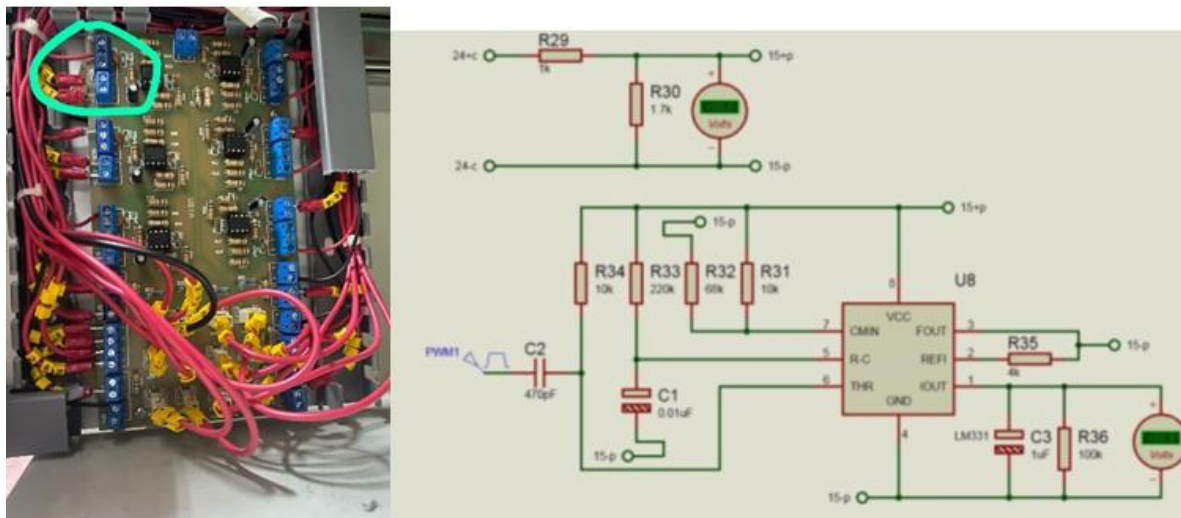
Luego se realizó el diagnóstico de instrumentación que arrojó los siguientes resultados:

- La salida del sensor de caudal SF6 entregaba una lectura de 0 voltios DC.
- De manera similar, la salida del sensor de temperatura entregaba también una lectura de 0 voltios DC.
- La electrobomba EB2 enciende, pero en ocasiones no genera flujo.

Tras el diagnóstico, con el procedimiento de revisión de fallas se encontró que:

- No se determinó la falla en ninguno de los puntos del procedimiento para el caudalímetro SF6, por lo que se concluye que el problema está en la tarjeta de sensores. A continuación, se identifica el sitio específico de la conexión en la tarjeta de sensores (ver figura 22) y las etiquetas que tiene son: 192 (verde, señal), 191 (negro, negativo), 190 (rojo, positivo) y 511 (medición en VDC) y en la bornera de sensores las etiquetas 533, 534 y 535.

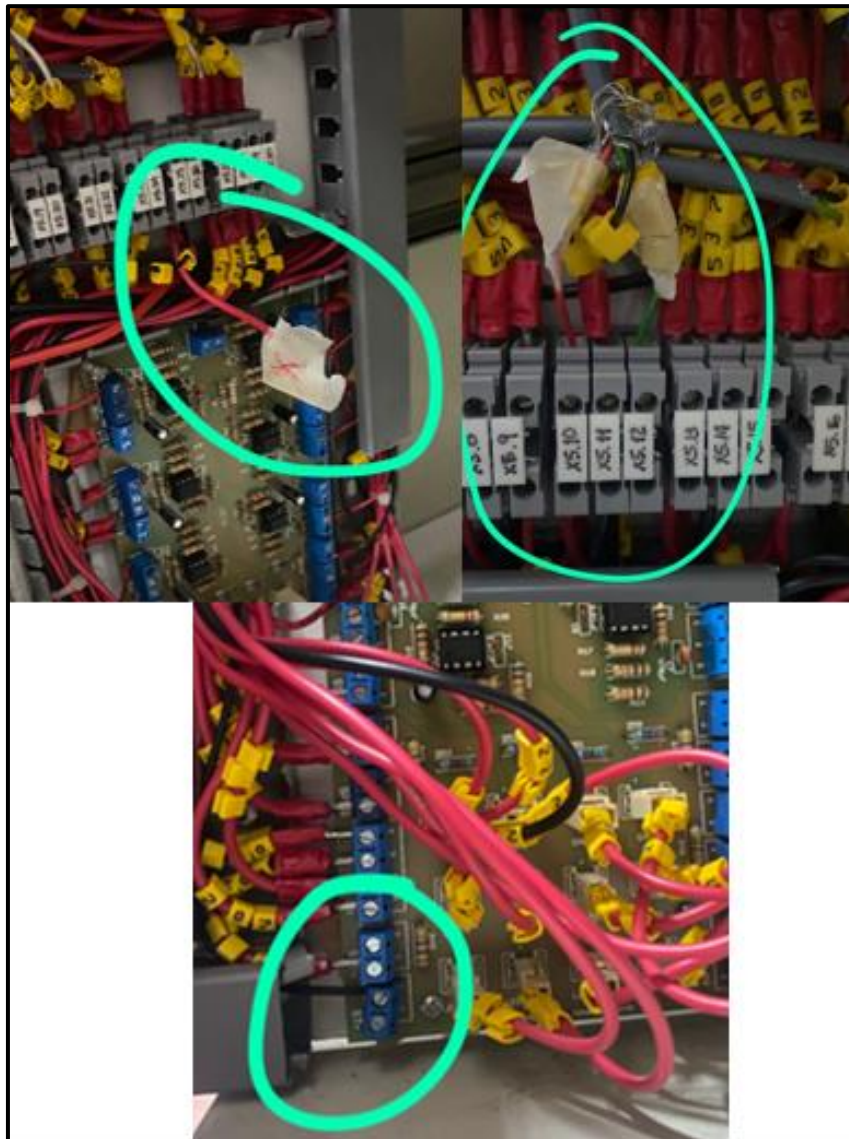
Figura 22. Localización de la falla caudalímetro SF6 en la tarjeta de sensores para planta 2.



- Al probar el sensor de temperatura se llegó a la conclusión de que estaba dañado. Además, se encontró que la alimentación del sensor no estaba conectada a la bornera de su circuito

sino en el positivo de la tarjeta, por lo que se desconectó y se marcó con cinta para su posterior recableado. La ubicación de su conexión se muestra en la figura 23 y sus etiquetas son: 205 (positivo), 206 (negativo) y 508 (medición en VDC).

Figura 23. Localización mala conexión en sensor de temperatura para planta 2.



- En el conjunto de válvula de retención de la electrobomba EB2 se encontró la membrana con un daño irreparable que se explica por el prolongado tiempo sin uso.

Figura 24. *Daño de la membrana de la bomba EB2 en planta 2.*



4.4.3 Planta 3

A partir de la inspección visual se encontraron daños físicos en:

- Piezas impresas en 3D.
- Soportes de tubería.

Luego se realizó el diagnóstico de instrumentación que arrojó los siguientes resultados:

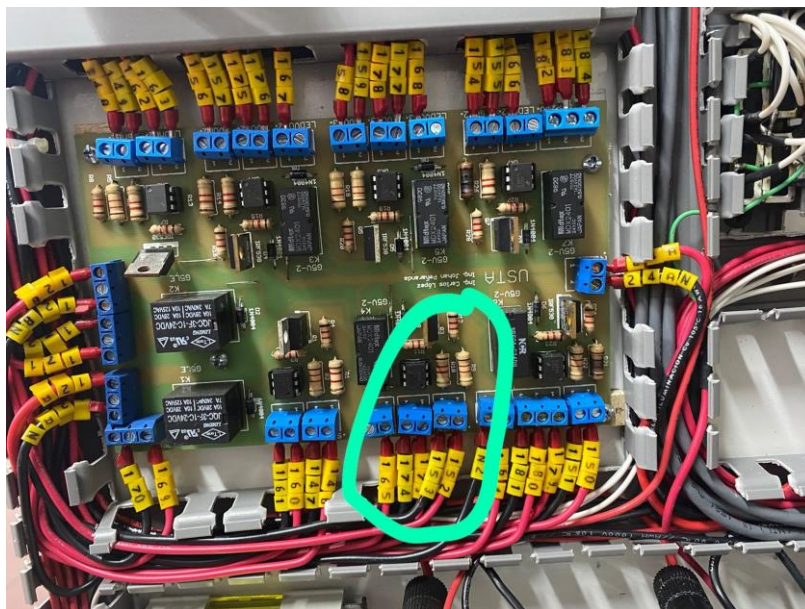
- La electroválvula regulada VP2 no cerraba completamente.
- La electroválvula VS1 no funcionaba.
- La electroválvula VS2 no funcionaba.

- La electrobomba EB1 enciende, pero en ocasiones no genera flujos.

Tras el diagnóstico, con el procedimiento de revisión de fallas se encontró que:

- Se puede concluir que la electroválvula VP2 se queda abierta por daño en el actuador.
- La electroválvula VS1 funcionaba correctamente y, por consiguiente, se infiere que el problema estaba en la tarjeta de potencia, puesto que la señal de control sí llegaba al circuito, pero no había activación del actuador. Su conexión está ubicada en la tarjeta de potencia como se muestra en la figura 25 y sus etiquetas son 152 (positivo), 153 (negativo) y 165 (activación de electroválvula).

Figura 25. Localización falla conexión válvula VS1 en planta 3.



4.4.4 Planta 4

A partir de la inspección visual se encontraron daños físicos en:

- Piezas impresas en 3D.
- Soportes de tuberías.
- Fuga en el tanque de procesos T2.

Luego se realizó el diagnóstico de instrumentación que arrojó los siguientes resultados:

- Válvula antirretorno del tanque de procesos T1 al tanque T2 dañada.
- Sensor FT 102-1 SF2 sin señal.
- Sensor FT 100-2 SF6 sin señal.
- Sensor FT 100-3 SF7 sin señal.

Por otra parte, dado el estado del cableado de la planta, la falta de etiquetas en los cables, la falta de planos y la organización de la placa no fue posible hacer una adecuada revisión de fallas. Por esta razón, se llega a la conclusión de que la planta se debe recablear, etiquetando cada cable y realizando un diagrama de la distribución de las borneras usadas en la planta, puesto que esto no existe en los documentos entregados por los estudiantes. Las siguientes imágenes ilustran lo aquí mencionado.

Figura 26. *Problemas de cableado en planta 4.*



4.5. Selección Y Puesta En Marcha De Una De Las Plantas

Para proceder a la selección de la PP que se pondrá en marcha se hace una comparación del estado actual de las 4 opciones encontradas, teniendo en cuenta tanto la parte física como la parte funcional. Para ello, considere la siguiente tabla en donde se presenta una calificación de 1 a 5 del estado físico general actual de las 4 plantas (una calificación de 1 representa un muy mal estado y 5 implica muy buen estado), seguido de, además, una calificación porcentual del estado de los diferentes componentes de cada una de ellas.

Tabla 12. *Calificación de estado actual 4 plantas.*

Daños	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4
Estado general físico	4	5	5	2.5
electrobombas	50%	50%	75%	100%
válvulas ON/OFF	100%	100%	100%	100%
válvulas reguladas	100%	100%	50%	100%
resistencia eléctrica	100%	100%	100%	100%
sensores de caudal POW110D3B	100%	100%	100%	NA
SENSORES DE CAUDAL VORTEX	100%	100%	100%	100%
SENSOR DE TEMPERATURA	100%	100%	100%	NA
SENSOR DE NIVEL THE PROBE	100%	100%	100%	100%
SENSOR DE NIVEL LSD-30	100%	100%	100%	100%
CONEXIÓN ELECTRICA	98.49%	100%	100%	10%
TARJETA DE SENSORES	100%	93,33%	100%	NA
TARJETA DE ACTUADORES	100%	100%	86,67%	NA

Las plantas que presentaban problemas en la tarjeta de sensores o de actuadores fueron descartadas, debido a que su arreglo tendría una demanda excesiva de tiempo, porque implicaría retirar las tarjetas desconectando toda la instrumentación asociada a ella y, luego, se tendría que revisar el circuito dañado para reemplazar o ajustar elementos eléctricos y electrónicos.

Adicionalmente, la planta 4 se descartó porque su instalación eléctrica carece de etiquetas, cosa que imposibilitó el diagnóstico de sus daños tal y como se expresó en la sección 4.4.4. Para este caso se recomienda que la PP sea totalmente recableada desde el principio.

En concordancia con lo anterior y con la información presentada en la tabla 4-12, se llegó a la conclusión de que la planta 1 era la que menos daños presentaba y, por consiguiente, su arreglo podría hacerse más rápido, de tal forma que se podría responder a las necesidades de la facultad de ingeniería mecatrónica de contar con una planta funcional para las clases de pregrado y posgrado de manera más oportuna.

Ahora bien, para la puesta en marcha de la PP 1 se parte del hecho de que la mayoría de sus problemas son físicos, razón por la que inicialmente se quitaron las piezas impresas en 3D dañadas y se sustituyeron con nuevas piezas para mantener los tubos sujetos a los tanques de procesos. Esta nueva configuración se muestra en la figura siguiente.

Figura 27. Soportes sustitutos impresos en 3D.



Como también muestra la figura, los soportes de tubería fueron sujetos de forma más firme para evitar movimientos indeseables en las líneas hidráulicas.

Otra reparación realizada consistió en que se taparon las fugas existentes en el tanque de proceso T2 que habían sido causados por daño en los accesorios de sellado.

Por otra parte, el soporte trasero del sensor *the probe* fue retirado y fijado nuevamente con remaches más grandes, en aras de disminuir la probabilidad de que se suelte en el futuro.

La tubería que no estaba ajustada fue pegada utilizando adhesivo para PVC para evitar las fugas de agua a través de ella.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que el daño de la electrobomba era irreparable, sumado a la dificultad de encontrar un repuesto dentro del país, se decidió reemplazar la pieza con la equivalente de la electrobomba de la planta 4.

Por último, la conexión del sensor de temperatura fue corregida manualmente.

4.6. Convención De Lectura De Los Sensores

Las salidas entregadas por los sensores en las PP para su lectura se dan en términos de voltaje en las borneras del sensor. Dado que se desea conocer las lecturas en términos de la variable a medir (temperatura, caudal, nivel), es necesario generar las ecuaciones de transducción de cada sensor, de manera que sea posible, a partir de una lectura de voltaje, conocer el valor respectivo de la variable que se quiere medir. Este ejercicio se repite para todos los sensores en las siguientes secciones.

4.6.1 Sensor De Temperatura MTB3560

Para este sensor el procedimiento a seguir consistió en medir el voltaje en las borneras del sensor y, simultáneamente, medir mediante un termopar la temperatura en el agua situada en la cercanía inmediata de la punta del sensor como se ilustra a continuación.

Figura 28. Mediciones de temperatura en termopar y voltaje en sensor MTB3560.



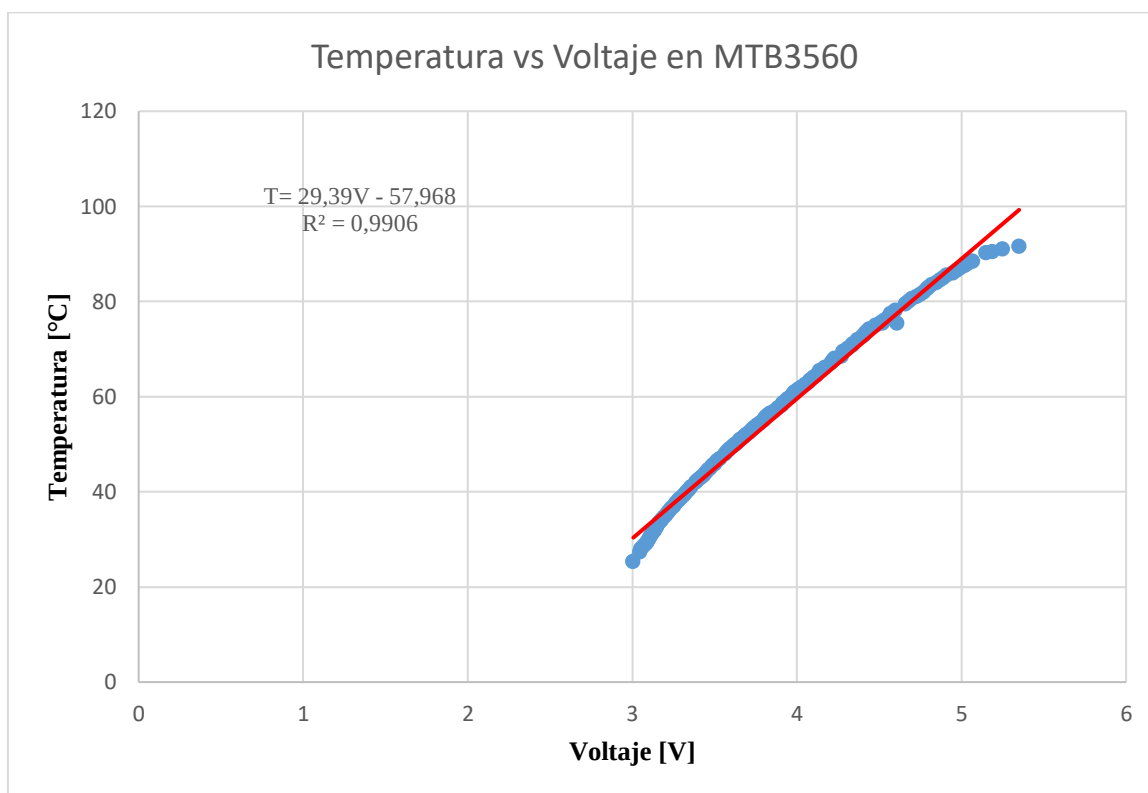
De esta manera, se obtenía la medida de la temperatura instantánea en el termopar y del voltaje correspondiente en el multímetro. Se tomó registro en video de este proceso (véase figura 28) y, con ello, se procedió a generar la siguiente tabla.

Tabla 13. Mediciones de temperatura en termopar y voltaje en lectura de sensor MTB3560.

Voltaje [V]	Temperatura [°C]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]	Voltaje [V]	Temperatura [°C]
3,006	25,3	3,401	42,5	3,909	58,2	4,53	76
3,046	27,4	3,418	43	3,916	58,6	4,55	76,5
3,052	28	3,434	43,5	3,928	59	4,57	77
3,067	28,5	3,447	44	3,945	59,5	4,57	77,5
3,081	29	3,463	44,6	3,965	60	4,6	78,1
3,091	29,5	3,474	45	3,977	60,5	4,61	75,5
3,101	30	3,487	45,5	3,987	61	4,66	79,5
3,108	30,5	3,499	45,9	4,01	61,5	4,68	80
3,117	31	3,505	46	4,03	62	4,7	80,6
3,131	31,6	3,518	46,5	4,05	62,5	4,73	81
3,138	32	3,533	47	4,07	63	4,75	81,5
3,146	32,5	3,564	48	4,08	63,5	4,77	82
3,155	33	3,578	48,5	4,1	64	4,79	82,6
3,163	33,5	3,592	49	4,12	64,5	4,8	83
3,174	33,9	3,61	49,5	4,14	65,5	4,82	83,5
3,177	34	3,624	49,9	4,17	66,1	4,85	84
3,189	34,5	3,626	50	4,21	67,1	4,87	84,5
3,203	35	3,643	50,5	4,22	67,6	4,89	85
3,215	35,5	3,656	51	4,23	68	4,91	85,5
3,226	36	3,678	51,6	4,27	68,5	4,95	86
3,238	36,5	3,692	52	4,28	69,5	4,97	86,5
3,253	37	3,71	52,5	4,31	70,2	4,99	87
3,264	37,5	3,728	53	4,34	70,8	5,02	87,5
3,276	38	3,741	53,5	4,34	71,1	5,04	88
3,287	38,4	3,758	54	4,37	72	5,06	88,4
3,289	38,5	3,778	54,5	4,4	72,8	5,07	88,5
3,305	39	3,799	55	4,41	73	5,15	90,2
3,319	39,5	3,808	55,6	4,42	73,5	5,19	90,5
3,332	40	3,822	56	4,44	74,2	5,25	91
3,345	40,5	3,838	56,5	4,48	75	5,35	91,6
3,359	41	3,862	57	4,51	75,6		
3,387	42	3,885	57,6	4,52	75,4		

Y, a partir de esta tabla, con una regresión realizada en Excel, se logró hallar la ecuación de la función que describía la relación entre las dos variables con un $R^2=0,9906$. La gráfica obtenida y la ecuación asociada son expuestas ahora.

Figura 29. Gráfica de resultados temperatura termo par vs voltaje en lectura del sensor MTB3560.



Esto es:

$$T = 29,39V - 57,968$$

4.6.2 Sensor De Caudal Vórtex

Para este sensor se recurre a su *datasheet*, en donde se halla directamente la relación existente entre la corriente de la lectura y el caudal respectivo siguiente:

$$Q = 0,938(I - 4)$$

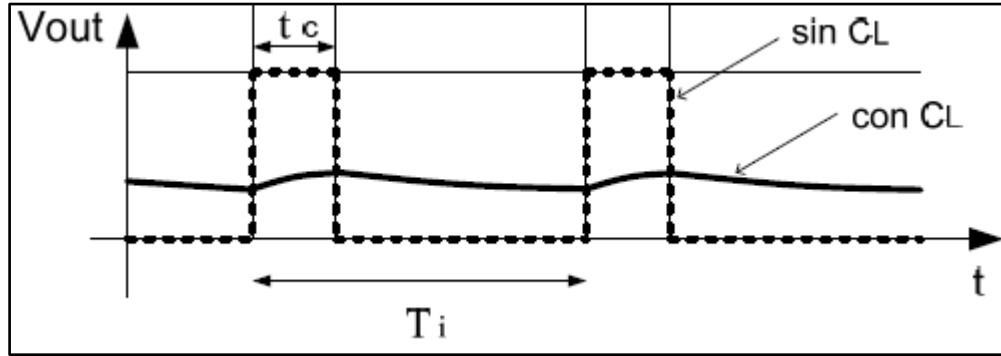
Utilizando la ley de Ohm y sabiendo que la resistencia es de 500 ohmios como se muestra en la figura 11, se puede obtener la relación entre la lectura de voltaje y el caudal asociado como:

$$Q = 0,938\left(\frac{V}{500} - 4\right)$$

En donde Q estará dado en litros por minuto y V en voltios.

4.6.3 Sensor De Caudal POW110D3B

Se trata de un sensor cuya lectura es proporcionada en términos de frecuencia. Para convertir este tren de pulsos a voltaje en las PP se utiliza el integrado LM33. La figura siguiente muestra el circuito típico de aplicación sugerido por el fabricante en el *datasheet* del circuito integrado para la conversión de frecuencia a tensión.

Figura 31. Voltaje de salida del convertidor de frecuencia a voltaje.

Tomado de: [12]

El tiempo t_c se calcula resolviendo la ecuación exponencial de carga de un capacitor a través de una resistencia, resultando:

$$t_c = 1,1(R_t \cdot C_t)$$

De esta forma integrando la tensión de salida V_{out} (valor medio de la señal):

$$V_{out} = \frac{1}{T_i} \int |V_{out}(t)| dt = \frac{1}{T_i} \int R_L \cdot i_1(t) \cdot dt = \frac{1}{T_i} \int R_L \cdot \frac{1,9v}{R_S} \cdot dt$$

Luego integrando en el tiempo t_c que la corriente es distinta de cero, resulta:

$$V_{out} = \frac{1}{T_i} \cdot R_L \cdot \frac{1,9v}{R_S} \cdot t_c = \frac{1}{T_i} \cdot R_L \cdot \frac{1,9v}{R_S} \cdot 1,1(R_t \cdot C_t)$$

Con el circuito de la planta presentado en la figura 20 se tienen los valores:

$$R_L = 100K\Omega \quad R_t = 220K\Omega \quad C_t = 0.01\mu f \quad R_S = 4K\Omega$$

$$V_{out} = \frac{0,11495}{T_i}$$

Sabiendo que la frecuencia es 1 sobre el periodo se llega a

$$frecuencia\ de\ entrada = \frac{V_{out}}{0,11495}$$

Según la hoja de datos la frecuencia de pulso (Hz) en la prueba horizontal = 7,5Q, Q es el caudal en L / min. (Resultados en un rango de +/- 3%). Por tanto:

$$Q = \frac{frecuencia\ de\ entrada}{7.5}$$

Con esto, se llega a la expresión deseada:

$$\mathbf{Q = 1,159924 \cdot V_{out}}$$

Estando Q en litros por minuto y Vout en voltios.

4.6.4 Sensor De Nivel Ultrasónico

La calibración del sensor *the probe* se hace también con la ayuda de su *datasheet*, de donde se conoce la corriente asociada a las alturas máxima y mínima que defina el usuario (véase sección 4.2.4). Éstas son:

$$Altura\ mínima = A \rightarrow 4\ [mA]$$

$$Altura\ máxima = B \rightarrow 20\ [mA]$$

Con el conocimiento de la resistencia que se tiene en el circuito, que es de 500 ohmios (véase figura 11), de la lectura y la ley de Ohm:

$$\text{Altura mínima} = A \rightarrow 4 [mA] \rightarrow 2 [V]$$

$$\text{Altura máxima} = B \rightarrow 20 [mA] \rightarrow 10 [V]$$

Por lo que se identifican dos puntos para la recta a construir:

$$(2, A); (10, B)$$

Con lo que se establece la ecuación de la recta de la altura H:

$$H - A = \frac{B - A}{10 - 2} (V - 2)$$

$$H = \frac{B - A}{8} (V - 2) + A$$

En donde H está dada en centímetros y V en voltios.

4.6.5 Sensor De Nivel LSD

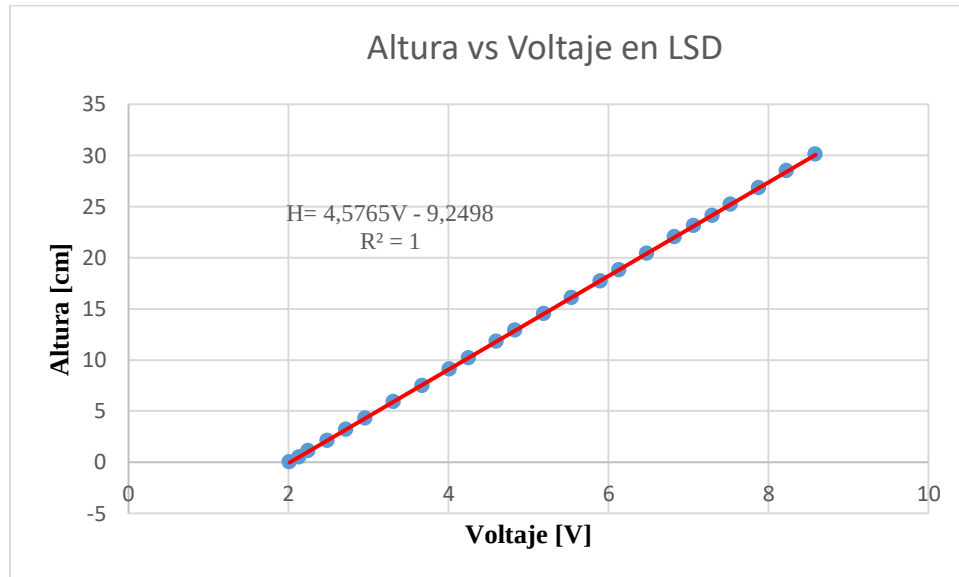
En este caso se aprovechó que el sensor LSD proporciona directamente la lectura de la altura correspondiente en todo momento y se tomaron datos simultáneos de la lectura de éste y de un multímetro conectado a la salida de tensión del sensor, con lo que se generó la siguiente tabla.

Tabla 14. Mediciones de altura en LSD y voltaje en la lectura del sensor.

Altura [cm]	Voltaje sensor LSD [V]
30,1	8,59
28,5	8,23
26,8	7,88
25,2	7,53
24,1	7,3
23,1	7,07
22	6,83
20,4	6,48
18,8	6,13
17,7	5,9
16,1	5,54
14,5	5,19
12,9	4,83
11,8	4,6
10,2	4,25
9,1	4,01
7,5	3,671
5,9	3,316
4,3	2,959
3,2	2,72
2,1	2,487
1,1	2,247
0,5	2,13
0	2,014

Con esta información y el apoyo de las herramientas de regresión lineal de Excel, se obtiene la ecuación y gráfica de la recta que mejor se aproxima a los datos medidos con un valor de R^2 prácticamente igual a la unidad. Esto se ilustra a continuación.

Figura 32. Gráfica de resultados altura y voltaje en lectura del sensor LSD.



De donde se concluye que la altura H en centímetros es:

$$H = 4,5765V - 9,2498$$

4.7. Manual De Operación

A partir de la experiencia de trabajo, específicamente en lo relativo a pruebas de diagnóstico de instrumentación, se construye el manual de operación de las PP, que se puede encontrar como el Apéndice A de este documento.

4.8. Manual De Mantenimiento

De manera análoga, tomando como materia prima lo que fue desarrollado y descrito en las secciones asociadas a revisión de fallas, se generó también el respectivo manual de mantenimiento de las PP. Éste es presentado como el Apéndice B de este documento.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

5.1. Conclusiones

- Se creó satisfactoriamente un plan de mejoramiento para las PP del laboratorio de automatización que permite el avance de los procesos que allí tienen lugar.
- Fue generado un manual de operación en el que se detalla el paso a paso a seguir a la hora de utilizar las PP en las diferentes prácticas (véase Apéndice A).
- Se desarrolló el manual de mantenimiento para las PP basado en las metodologías de diagnóstico y revisión de falla planteadas en las secciones 4.2 y 4.3, en el cual se especifican las actividades de mantenimiento correctivo y preventivo de las plantas (véase Apéndice B).
- Fue posible poner en funcionamiento la PP 1, ya que fue la que se encontró con un mejor estado, razón por la que su reparación y puesta en marcha requirió una menor cantidad de trabajo/esfuerzo.
- A lo largo de la sección 4.6 se presenta el proceso de obtención y los resultados finales para las expresiones que traducen las lecturas de voltaje a la salida de los sensores que constituyen las PP a sus respectivos valores de las variables a medir.
- Debido a que en general en este documento y en los manuales generados se utiliza la nomenclatura de identificación de componentes de las plantas 2 y 3, se recomienda en el corto plazo actualizar la nomenclatura de las plantas 1 y 4 de manera que coincidan con las mencionada antes, de manera que se eliminen ambigüedades y se eviten posibles confusiones.

- Se debería extender la duración de cada práctica o cada vez que se quiera usar las PP, debido a que las actividades de revisión de elementos de ésta conllevan un tiempo aproximado de 30 minutos.
- Dado el estado actual de la PP 4, que se puede apreciar en la figura 26, se recomienda que ésta sea recableada por completo desde el principio, cosa que, como fue indicado impidió su diagnóstico.

5.2. Trabajos Futuros

Como primer trabajo futuro, según refleja la sección anterior, se propone actualizar y unificar las nomenclaturas de los elementos constituyentes de las PP, para lo cual puede recurrirse a las tablas 0-11 y 0-12 del Apéndice B de este documento.

También se destaca la necesidad de realizar un recableado total de la PP 4 que haga posible la ejecución de las actividades de diagnóstico que se hicieron para las PP restantes y, así mismo, las reparaciones correspondientes y su puesta en marcha.

Por último, se recomienda que las actividades de mantenimiento según consta en el Apéndice B, con su respectivo cronograma sean desarrolladas por las laboratoristas.

Bibliografía

- [1] J. Peñaranda y C. López, DISEÑO, HABILITACIÓN Y ENSAMBLE UNA PLANTA DE PROCESOS CON GUÍAS DE LABORATORIO, MANUAL DE USUARIO Y EXPEDIENTE TÉCNICO, Bucaramanga: Universidad Santo Tomás, 2017.
- [2] N. Ardila y L. Galán, Diseño y construcción de una planta de procesos con guías de laboratorio y manual de usuarios, Bucaramanga: Universidad Santo Tomas, 2019.
- [3] F. Pérez, «Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial,» USTA, Bucaramanga, 2021.
- [4] J. Medrano, V. González y V. Díaz, Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales, Ciudad de México: Patria, 2017.
- [5] FLOJET, «"Diafragma Triplex". Bomba automática para sistema de agua serie 3426/3526/3626,» Xylem Inc., Santa Ana, 2012.
- [6] MILTRONICS, «Manual de instrucciones PL-517-2. The probe. Medidor de nivel,» Siemens Miltronics Process Instruments Inc., Peterborough, 2001.
- [7] I. Electronic, «Medidor de flujo de vórtice SV4050,» IFM Electronic, Berlín, 2015.
- [8] WIKA, «Interruptor de nivel electrónico con indicador. Modelo LSD-30,» Instrumentos WIKA, S.A., Barcelona, 2014.

- [9] I. Electronic, «Detector capacitivo. KG0010,» IFM Electronic, Berlín, 2021.
- [10] BERNSTEIN AG, «Interruptor de proximidad capacitivo Serie M18,» BERNSTEIN AG, Porta Westfalica, 2019.
- [11] RobotShop, «SeeedStudio Water Flow Sensor RB-See-98,» 2010.
- [12] S. Eberlein y O. Vásquez, «Convertidores tensión-frecuencia y frecuencia-tensión,» Universidad Nacional de Rosario, Rosario, 2012.

APÉNDICES

APÉNDICE A. MANUAL DE OPERACIÓN

En este manual se establecen y presentan enumeradas y en forma secuencial las actividades a ejecutar para el correcto uso de las plantas de procesos (PP).

1. *Objetivo*

Elaborar un procedimiento para el uso de las PP en las diferentes prácticas en que se desee aprovechar éstas, con la finalidad de preservar su funcionalidad y procurar su adecuado funcionamiento.

2. *Alcance*

Aplicable para todas las prácticas de laboratorio o similares que se pretenda realizar aprovechando las plantas de procesos.

3. Definiciones

3.1 Electrobomba

Se trata de un dispositivo utilizado para generar el desplazamiento o movimiento de un fluido a través de tuberías o mangueras, para lo cual convierte energía mecánica en presión utilizando un motor eléctrico.

Tabla 15. Información electrobomba.

	Tipo de actuador	Electrobomba
	marca	flojet
	serie-modelo	3526144
	alimentacion	(12) [V DC]
	proteccion	ISO 8846 (protección contra ignición)
	Psi máx. (Bar)	50 (3,4)
	temperatura fluido	(-10 - 80) [°C]
	GPM (LPM)	2,9 (11)
	consumo de amperaje a 10 psi (0,7 bar)	4.4

3.2 Electroválvula Proporcional:

Es una válvula que proporciona un cambio en la presión el flujo de salida en la misma proporción que el cambio en la entrada, es decir, que si, por ejemplo, el valor de alguna de estas variables se duplica, el correspondiente valor de salida también se duplicará. Su accionamiento es eléctrico, bien sea por una bobina solenoide o por un motor, a través del que, en función de la señal de mando enviada, se puede ajustar la apertura de la válvula.

Tabla 16. Información electroválvulas proporcionales.

	Tipo de actuador	Válvulas solenoide de 2 vías servoaccionadas (proporcionales)
	marca	danfoss
	serie-modelo	EV260B
	alimentacion	(24) [V DC]
	proteccion	ip67
	temperatura ambiente	(-25 - 50) [°C]
	temperatura fluido	(-10 - 80) [°C]
	viscosidad	max 50cSt

3.3 Electroválvula ON/OFF:

Son válvulas también accionadas por una bobina solenoide o por un motor mediante una señal eléctrica, pero que sólo tienen dos estados posibles: estar totalmente abiertas o cerradas.

Tabla 17. Información electroválvulas ON-OFF.

	Tipo de actuador	Electroválvula solenoide ON-OFF
	marca	danfoss
	serie-modelo	EV220B 6-22
	alimentacion	(5 - 24) [V DC]
	proteccion	ISO 8846 (protección contra ignición)
	temperatura ambiente	(max 80) [°C]
	temperatura fluido	(-30 - 1000) [°C]
	viscosidad	max 50cSt

3.3 Sensor De Temperatura:

Hace referencia a un dispositivo que permite medir la temperatura mediante una señal eléctrica dada.

Tabla 18. Información sensor de temperatura.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE TEMPERATURA
	MARCA	DANFOSS
	SERIE- MODELO	MBT3560
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(10 - 30) [V DC]
	PRESICION	< ± 0,5 % FS (tip.) < ± 1 % FS (máx.)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-50 - 200) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(-50 - 200) [°C]
	PROTECCION	IP65

3.4 Sensor De Caudal:

Se refiere a un dispositivo que se instala, por ejemplo, en líneas de tubería y permiten medir la cantidad de fluido por unidad de tiempo que las está atravesando en un momento dado.

Tabla 19. Información sensor de caudal vortex.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	SV4050
	SALIDA	(4 - 20) [mA] ($Q \text{ [l/min]} = 0,938 \times (I - 4 \text{ mA})$)
	ALIMENTACION	(8 - 33) [V DC]
	PRESICION	$Q < 50\% \text{ MEW: } < 1\% \text{ MEW} / Q > 50\% \text{ MEW: } < 2\% \text{ MW; (agua)}$
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-15 - 85) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,9 - 15) [l/min]
	PROTECCION	IP65

Tabla 20. Información sensor de caudal POW110D3B.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	SEED
	SERIE- MODELO	POW110D3B
	SALIDA	Frecuencia de pulso (Hz) en la prueba horizontal = 7.5Q, Q es el caudal en L / min. (Resultados en un rango de +/- 3%)
	ALIMENTACION	(5 - 24) [V DC]
	PRESICION	3% (caudal de 1L / min a 10L / min)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(1 - 30) [l/min]
	PROTECCION	NA

3.5 Sensor De Proximidad:

Son módulos utilizados para detectar la presencia de objetos cercanos sin necesidad de contacto físico. En particular, los sensores capacitivos detectan la presencia de un área conductiva que altera un campo eléctrico existente.

Tabla 21. Información sensor capacitivo KG0010.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	KG0010
	SALIDA	NORMALMENTE CERRADO
	ALIMENTACION	20...250 AC/DC
	PRESICION	NA
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	8 [mm]
	PROTECCION	IP67

Tabla 22. Información sensor capacitivo KCN-T18PS

	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	BERNSTEIN
	SERIE- MODELO	KCN- T18PS
	SALIDA	NORMALMENTE ABIERTO
	ALIMENTACION	(12 - 48) [V DC]
	PRESICION	NA
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 70) [°C]
	RANGO DE MEDICION	13,5 [mm]
	PROTECCION	IP65

3.6 Sensor De Nivel:

Dispositivo electrónico utilizado para medir la altura de un material, que usualmente es líquido, aunque también pueden usarse para sólidos, dentro de un tanque u otro recipiente.

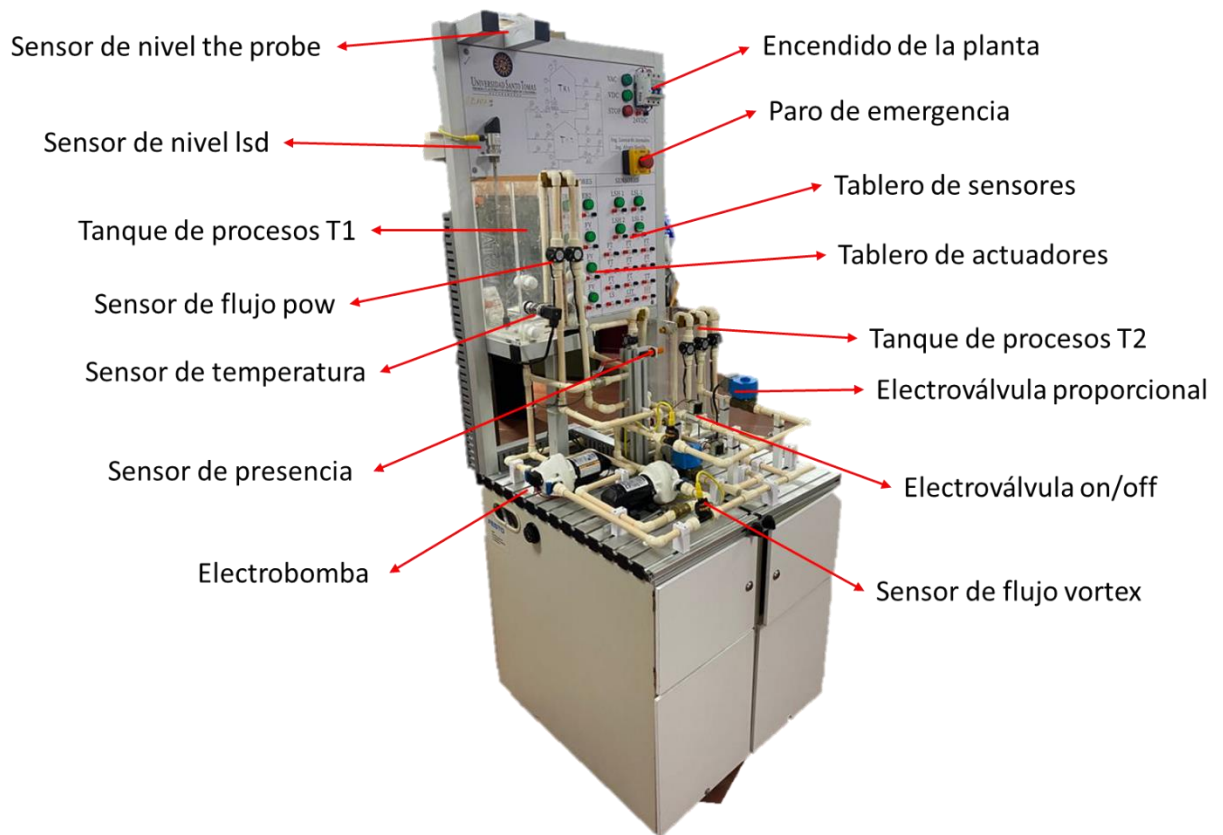
Tabla 23. Información sensor de nivel The probe.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	SIMENS
	SERIE- MODELO	THE PROBE
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(18 - 30) [V DC]
	PRESICION	
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-40 - 60) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,25 - 5) [m]
	PROTECCION	IP65

Tabla 24. Información sensor de nivel LSD-30.

	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	WIKA
	SERIE- MODELO	LSD-30
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(15 - 35) [V DC]
	PRESICION	$\leq \pm 0,5 \%$ del span
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-20 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	
	PROTECCION	IP65 Y IP67

Figura 33. Partes de la planta.



4 Documentos A Consultar

A continuación, se listan los documentos que se nombran parte de las actividades a realizar para la operación de las PP:

- Formato de revisión de elementos de las plantas de procesos.
- Formato de préstamos de las plantas de procesos.

5 Responsables

Se identifican tres responsables principales en diferentes niveles de asuntos relacionados con este manual de operación:

- El decano de la facultad de ingeniería mecatrónica es responsable de verificar el cumplimiento de lo que consta en este manual de operación.
- El jefe de laboratorio y sus ayudantes tienen la responsabilidad de hacer cumplir lo consignado acá.
- Los estudiantes y docentes que se sirvan de las PP son los responsables del cumplimiento estricto de este manual.

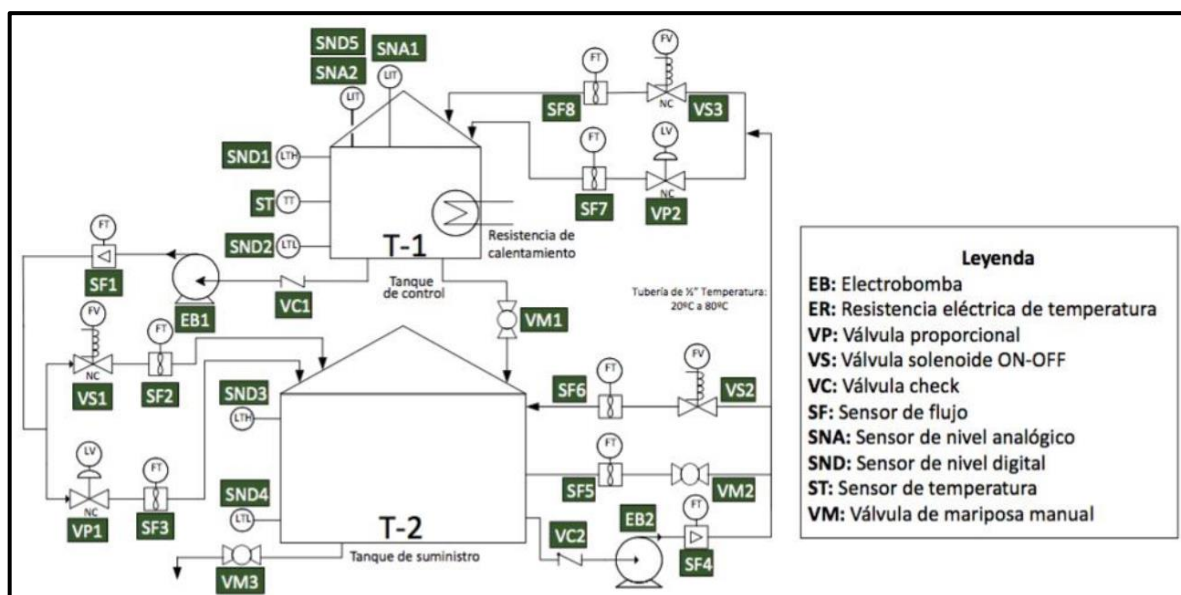
6. Descripción

Se identifican 5 actividades principales que serán exploradas en detalle una por una. Éstas son: preparación para el uso de la PP, encendido de la PP, llenado de los tanques de procesos, lectura de sensores y vaciado de la PP y apagado.

6.1. Preparación para el uso de la PP

- Diligenciar el formato de revisión de elementos de las plantas de procesos.
 - Diligenciar el documento de préstamos, que es un requisito para poder usar la PP y realizar las prácticas propuestas por los docentes.
 - Para el correcto uso de la PP se debe tener en cuenta en todo momento el diagrama P&ID de la PP, debido a que indica la ubicación de la instrumentacion y su etiqueta.
- Este diagrama se muestra seguidamente.

Figura 34. Diagrama P&ID de las PP. Tomado de: [1]



6.2 Encendido De La PP

- Alimentar la planta de procesos a 120VAC-60Hz verificando que el piloto verde “VAC” se encuentre encendido; en caso contrario y/o si está activo el piloto rojo “STOP” comprobar si el botón de paro de emergencia se encuentra anclado y devolverlo a su posición original.

Figura 35. *Piloto VAC encendido.*



- Subir los tres interruptores para alimentar todos los componentes eléctricos de la planta piloto. Tras esto, se debe encender el piloto verde “VDC”.

Figura 36. *Piloto VDC encendido.*



- Si no enciende la PP, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

6.3 Llenado De Los Tanques De Procesos

Todas las PP cuentan con dos sensores capacitivos de presencia en cada uno de sus tanques, cuya función es indicar el máximo y el mínimo nivel de fluido encontrado en éstos. En términos concretos, hay dos tipos de sensores capacitivos en las plantas de procesos: el KG0010 que es normalmente cerrado y el KCN-T18PS normalmente abierto.

Figura 37. Sensor de presencia BERNSTEIN KCN-T18PS.

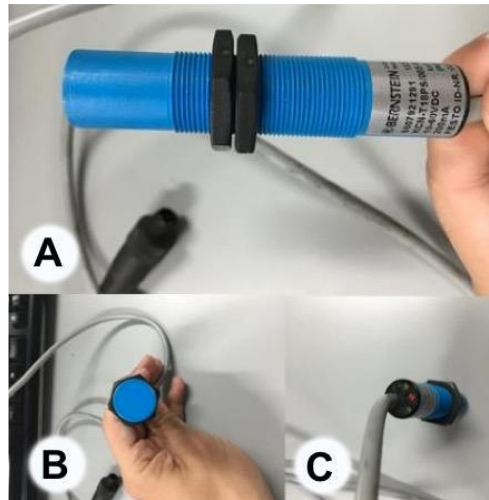


Figura 38. Sensor de presencia KG0010.



Se debe tener presente que las electrobombas sólo deben usarse cuando el tanque de procesos del que se va a bombear tiene líquido, ya que encenderla en vacío podría dañarla.

Por la configuración operacional de las PP, las electrobombas (EB1 Y EB2) no funcionan a menos que esté activa al menos una electroválvula de su mismo nodo, ya sea ON/OFF o regulada, pues la planta cuenta con un sistema de seguridad que cual no la activa bajo esta condición con el fin de no dañarla.

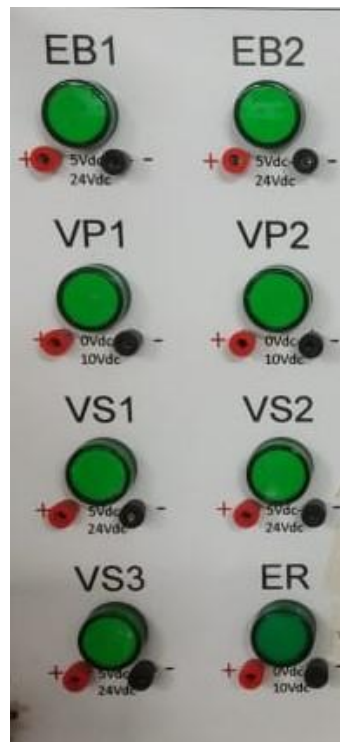
La activación de todos los actuadores se puede hacer mediante las borneras de salida ubicadas en la parte superior de la planta con 24VDC para las electroválvulas ON/OFF y la

electrobomba. En caso de las electroválvulas reguladas y la resistencia eléctrica se hace con ayuda de una fuente regulada energizándolas de 0VDC-10VDC. En este punto, se debe encender el testigo del actuador energizado ubicado en la parte superior de cada bornera para comprobar su alimentación.

Figura 39. *Borneras para alimentación.*



Figura 40. *Tablero de activación de actuadores.*



Adicionalmente, antes de empezar a usar la PP se debe:

- Identificar qué sensores de presencia están instalados en la PP para hacer el correcto uso de ésta.

Figura 41. *Ubicación de los sensores capacitivos en el tanque de procesos T2.*



Figura 42. *Ubicación de los sensores capacitivos en el tanque de procesos T1.*



- Llenar manualmente con ayuda de un balde el tanque de procesos T2 (ver figura 43) hasta que el testigo del sensor capacitivo SND3 (véase figura 44) indique que está en su máximo nivel para así poder empezar a realizar las prácticas propuestas.

Figura 43. Tanque de procesos T2.



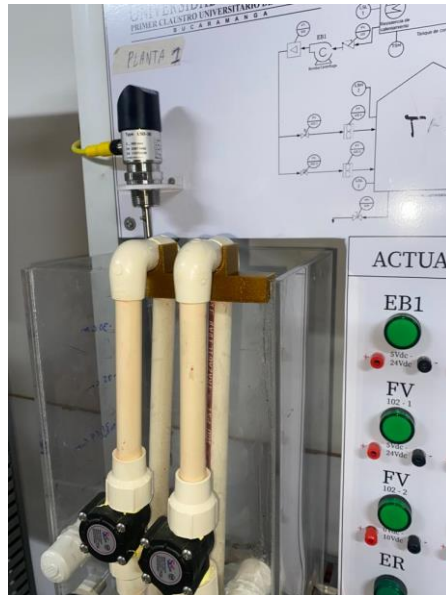
Figura 44. Testigos de sensores capacitivos en tablero.



Considere el caso del llenado del tanque de procesos T1.

El tanque de procesos T1 (ver figura 45) se puede llenar de dos maneras diferentes: a través de una electroválvula ON/OFF o con una electroválvula proporcional.

Figura 45. *Tanque T1.*



El procedimiento para seguir para el caso de llenado a través de la válvula proporcional es:

Figura 46. *Electroválvula proporcional.*



- Energizar electrobomba EB2 con los bornes correspondientes según puede apreciarse en la figura 47, en donde se mostró el tablero de activación de actuadores.

Figura 47. Electrobomba EB2.



- Con ayuda de una fuente regulada energizar también la electroválvula regulada VP2 con 0VDC-10VDC en los bornes correspondientes del tablero de activación de actuadores.
- Se debe observar cómo el tanque de procesos T1 se va llenando a una velocidad directamente proporcional al voltaje suministrado por la fuente regulada.
- Al llegar al nivel deseado, desenergizar la electroválvula para así parar el proceso de llenado.
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Mientras tanto, el procedimiento a seguir para el caso de llenado a través de la válvula ON/OFF es el siguiente.

Figura 48. *Electroválvula ON/OFF.*



- Energizar electrobomba EB2 en sus respectivos bornes del tablero de activación de actuadores.
- De forma similar, energizar electroválvula VS3.
- Se debe observar cómo el tanque de procesos T1 se va llenando.
- Al llegar al nivel deseado, desenergizar la electroválvula para así parar el proceso de llenado.
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Ahora, para el llenado del tanque de procesos T2 se tiene lo siguiente.

En el caso del tanque de procesos T2 se tiene que éste puede ser llenado por tres líneas diferentes: con una electroválvula ON/OFF, con una electroválvula proporcional y con una válvula manual.

Para el caso de la línea de la electroválvula proporcional:

- Energizar electrobomba EB en el tablero de activación de actuadores.

- Con ayuda de una fuente regulada energizar también la electroválvula regulada con 0VDC-10VDC.
- Se debe observar cómo el tanque de procesos T2 se va llenando a una velocidad directamente proporcional al voltaje suministrado por la fuente regulada.
- Al llegar al nivel deseado, desenergizar la electroválvula para así parar el proceso de llenado
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Para el caso de la línea de la válvula ON/OFF:

- Una vez más, energizar electrobomba.
- También energizar electroválvula VS1.
- Se debe observar cómo el tanque de procesos T2 se va llenando.
- Al llegar al nivel deseado, desenergizar la electroválvula para así parar el proceso de llenado.
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Y para el caso de la línea de la válvula manual:

- Abrir manualmente la válvula manual VM1.

Figura 49. *Válvula manual VM1.*



- Se debe observar cómo el tanque de procesos T2 se va llenando a una velocidad directamente proporcional a la apertura de la válvula manual.
- Al llegar al nivel deseado, cerrar la válvula para así parar el proceso de llenado.
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

6.3 Realimentación del tanque de procesos T2

Así mismo, la realimentación del tanque de procesos T2 se puede dar por medio de dos líneas diferentes: a través de una electroválvula ON/OFF y a través de una válvula manual.

Cuando se hace por la electroválvula ON/OFF:

- Energizar electrobomba EB2.
- Energizar electroválvula VS2.

- Se deben observar perturbaciones en el tanque de procesos T2, lo que indica que el agua está recirculando.
- Desenergizar la electroválvula cuando se desee parar la recirculación
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Cuando se hace por la válvula manual:

- Energizar electrobomba EB2.
- Energizar cualquier electroválvula que se encuentre en el mismo nodo, (revisar diagrama P&ID).
- Abrir manualmente la válvula VM2.

Figura 50. Válvula VM2.



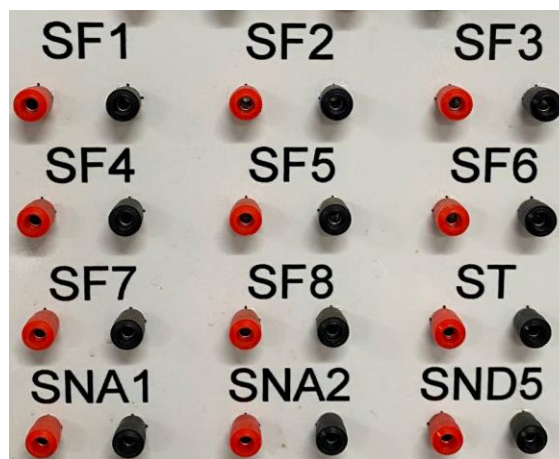
- Si no funciona, contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

A.6.4 Lectura De Sensores

La lectura de los sensores se hace con ayuda de un multímetro, conectándolo en las borneras de salida del sensor que se desea medir, con lo cual se debe obtener la lectura de un voltaje directo.

NOTA: si la lectura de los sensores es 0Vdc o no se ven cambios aun cuando haya perturbaciones significativas en la variable que se desea medir, se debe contactar al laboratorista para revisar y realizar un diagnóstico.

Figura 51. Borneras de sensores en tablero.



Primero, para los sensores de caudal se consideran dos tipos de sensor: los POW110DB3 y los vórtex.

Los POW110DB3 están ubicados después de cada válvula, exceptuando las manuales encargadas del vaciado de cada uno de los tanques. Sus etiquetas son: SF2, SF3, SF5, SF6, SF7 y SF8 como puede verse en la figura 51.

Figura 52. *Sensores de caudal POW110DB3.*



Para, a partir de la lectura de voltaje que entrega V_{out} , determinar el valor correspondiente de caudal Q se utiliza la expresión:

$$Q = 1,159924 \cdot V_{out}$$

En donde Q estará dado en litros por minuto y V_{out} en voltios.

Mientras tanto, los sensores vórtex están situados después de cada electrobomba. Sus etiquetas son: SF1 y SF4 (véase también figura 53).

Figura 53. *Sensores de caudal vórtex.*



Para, a partir de la lectura de voltaje que entrega V , determinar el valor correspondiente de caudal Q se utiliza la expresión:

$$Q = 0,938 \left(\frac{V}{500} - 4 \right)$$

En donde Q estará dado en litros por minuto y V en voltios.

En tanto que, en lo que respecta a sensores de nivel, se tiene el *the probe* y el LSD-30.

El sensor *the probe* está ubicado en el tanque de procesos T1, su etiqueta de identificación es SNA1 y debe calibrarse antes de usarse.

Figura 54. Sensor de nivel *the probe*.



El proceso de calibración consiste en:

- Llenar el tanque de procesos T1 hasta que el sensor capacitivo SND1 indique que está en su máximo nivel.
- Destapar el sensor *the probe* soltando el tornillo que está en su parte superior para poder abrir la tapa y observar que su pantalla esté encendida.

Figura 55. *Sensor the probe con tapa abierta.*



- Presionar el botón “20” hasta que se observe “c20” en la pantalla, lo cual indica su nivel más alto de medición.
- Se vacía el tanque de procesos T 1.
- Presionar el botón “4” hasta que se observe “c4” en la pantalla, lo cual indica el nivel más bajo de medición.

La conversión de la lectura de voltaje V proporcionada por el lector y el correspondiente valor medido H, utilizando los valores de nivel máximo B y valor mínimo A, se hace con la siguiente expresión:

$$H = \frac{B - A}{8}(V - 2) + A$$

En donde H, B y A estarán en centímetros, mientras que V estará dado en voltios.

Por otro lado, el sensor LSD-30 está situado en el tanque de procesos T1, con la etiqueta SNA2.

Figura 56. Sensor de nivel LSD-30.



Su medición se realiza con la siguiente expresión:

$$H = 4,5765V - 9,2498$$

En donde la altura del nivel H está en centímetros y el voltaje de la lectura V en voltios.

Por último, el sensor de temperatura en cuestión es el MBT3560, ubicado en el tanque de procesos T1, con la etiqueta SNA2. Para conocer su lectura se utiliza la expresión:

$$T = 29,39V - 57,968$$

Siendo T la temperatura medida en °C y V la tensión dada por el sensor.

6.5 Vaciado De La PP Y Apagado

Cuando se termina la práctica, la PP se debe vaciar según el siguiente proceso.

- Diligenciar el formato de revisión de elementos de las plantas de procesos.
- Vaciar tanque de procesos T1 abriendo la válvula manual VM1.
- Ubicar un balde debajo del desagüe del tanque de procesos T2 ubicado en la parte posterior de la PP.

Figura 57. *Parte posterior de la PP.*



- Vaciar el tanque de procesos T2 abriendo la válvula manual VM3 hasta que los dos tanques estén vacíos por completo.
- Cerrar la válvula manual VM3.

Figura 58. *Válvula manual VM3.*



- Bajar los tres interruptores para desenergizar todos los componentes eléctricos de la planta piloto. Sólo debe quedar encendido el piloto verde “VAC”.
- Desconectar la planta de procesos de la conexión de 120VAC-60Hz.
- Desconectar el cable de alimentación y guardarlo en uno de sus gabinetes.

Figura 59. *Conexión de 120VAC-60Hz.*



Figura 60. *Gabinete frontal de la PP.*



APÉNDICE B. MANUAL DE MANTENIMIENTO

1 Presentación Del Manual

Entendiendo el papel fundamental de la normalización para la preservación y aprovechamiento de las PP, se crea este manual, el cual está constituido por los procedimientos a seguir por las personas encargadas del laboratorio, para la ejecución de actividades orientadas al mantenimiento de cada uno de los elementos de los bancos y de los bancos en general, de tal forma que sea posible verificar el estado de los equipos, mantener y controlarlos y, así, garantizar su disponibilidad para operación.

2 Objetivo Y Alcance

El objetivo perseguido por este manual es el de satisfacer y garantizar las condiciones de operación de las PP en cuanto a su buen funcionamiento y el de todos los elementos que lo constituyen.

Mientras tanto, el alcance abarca toda la instrumentación y componentes que hacen parte de estos módulos de laboratorio y, en caso de que ella ocurra, de todos aquellos que sean añadidos como parte de un proceso de mejoramiento.

3 Organización Y Uso De Manual

El manual se desarrolla primero con la identificación de los equipos que conforman la planta, para luego pasar a la descripción de las actividades que pueden desarrollarse en términos de mantenimiento correctivo y preventivo.

Se pretende que este documento llegue a las personas encargadas del laboratorio, quienes deberán garantizar que las actividades acá descritas sean ejecutadas según lo que consta en él y, además, que sea revisado una vez al año o cuando haya lugar a ello debido a cambios en los equipos o en los procedimientos para los que está destinada la planta.

4 Equipos De La Planta

Para la descripción adecuada de todas las tareas de mantenimiento y para aportar claridad general a quien sea el lector de este manual, esta sección se dedica a la identificación y descripción de los elementos que constituyen los bancos de laboratorio en estudio.

En primer lugar, teniendo en cuenta que la nomenclatura utilizada para todas las plantas no es la misma, se debe mostrar la equivalencia entre la nomenclatura utilizada en este documento, que se basa en la que se tiene para las plantas 2 y 3, y la nomenclatura utilizada en las plantas 1 y 4, de manera que se puedan evitar confusiones y que lo aquí planteado sea aplicable a cualquiera de las PP. Se espera que en el corto plazo la nomenclatura sea la misma para las 4 plantas y esté dada de acuerdo con lo presentado en la siguiente tabla.

Tabla 25. Equivalencia de nomenclaturas de sensores entre plantas 1-4 y 2-3.

ITEM	ETIQUETAS PP 1 y 4	DESCRIPCION	NUEVA ETIQUETA
1	LSH 1	Sensor de proximidad capacitivo	SND1
2	LSL 1	Sensor de proximidad capacitivo	SND2
3	LSH 2	Sensor de proximidad capacitivo	SND3
4	LSL 2	Sensor de proximidad capacitivo	SND4
5	TT	Sensor de temperatura MBT3560.	ST
6	LS	Sensor de ultrasonido SIEMENS THE PROBE	SNA1
7	LIT ANALOGICO	sensor de nivel con display LSD-30.	SNA2
8	FT 102	Sensor de flujo Vortex SV4050.	SF1
9	FT 102-1	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF2
10	FT 102-2	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF3
11	FT 100	Sensor de flujo Vortex SV4050.	SF4
12	FT 100-1	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF5
13	FT 100-2	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF6
14	FT 100-4	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF7
15	FT 100-3	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	SF8

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, para el caso de los sensores capacitivos de proximidad, dependiendo de la planta que se considere pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados. Específicamente, los KCN-T18PS son normalmente abiertos y los KG0010 son normalmente cerrados.

De manera análoga, para los actuadores:

Tabla 26. *Equivalencia de nomenclaturas de actuadores entre plantas 1-4 y 2-3.*

ITEM	ETIQUETAS PP 1 y 4	DESCRIPCION	NUEVA ETIQUETA
1	EB1	Electrobomba (CM30P7-1).	EB1
2	EB2	Electrobomba (CM30P7-1).	EB2
3	FV 102-1	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	VS1
4	FV 100-2	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	VS2
5	FV 100-3	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	VS3
6	FV 102-2	Electroválvula proporcional. (EV260B)	VP1
7	FV 100-4	Electroválvula proporcional. (EV260B)	VP2
8	HV 101	Válvula manual de tipo bola.	VM1
9	HV 100-1	Válvula manual de tipo bola.	VM2
10	HV 104	Válvula manual de tipo bola.	VM3
11	ER	Resistencia eléctrica de temperatura	ER
12	FV 102	Válvula anti retorno.	VC1
13	FV 100	Válvula anti retorno.	VC2

Por otra parte, considere la información general relativa a sensores que se recoge en las tablas siguientes.

Tabla 27. Información sensor KG0010

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	KG0010
	SALIDA	NORMALMENTE CERRADO
	ALIMENTACION	20...250 AC/DC
	PRECISIÓN	NA
	PRECISIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	8 [mm]
	PROTECCION	IP67

Tabla 28. Información sensor KCN-T18PS

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR CAPACITIVO DE PRESENCIA
	MARCA	BERNSTEIN
	SERIE- MODELO	KCN- T18PS
	SALIDA	NORMALMENTE ABIERTO
	ALIMENTACION	(12 - 48) [V DC]
	PRECISIÓN	NA
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 70) [°C]
	RANGO DE MEDICION	13,5 [mm]
	PROTECCION	IP65

Tabla 29. Información sensor MBT3560.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE TEMPERATURA
	MARCA	DANFOSS
	SERIE- MODELO	MBT3560
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(10 - 30) [V DC]
	PRECISIÓN	< ± 0,5 % FS (tip.) < ± 1 % FS (máx.)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-50 - 200) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(-50 - 200) [°C]
	PROTECCION	IP65

Tabla 30. Información sensor the probe.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	SIMENS
	SERIE- MODELO	THE PROBE
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(18 - 30) [V DC]
	PRECISIÓN	
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-40 - 60) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,25 - 5) [m]
	PROTECCION	IP65

Tabla 31. Información LSD-30

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE NIVEL
	MARCA	WIKA
	SERIE- MODELO	LSD-30
	SALIDA	(4 - 20) [mA]
	ALIMENTACION	(15 - 35) [V DC]
	PRECISIÓN	$\leq \pm 0,5$ % del span
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-20 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	
	PROTECCION	IP65 Y IP67

Tabla 32. Información sensor SV4050.

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	IFM
	SERIE- MODELO	SV4050
	SALIDA	(4 - 20) [mA] (Q [l/min] = $0,938 \times (I - 4 \text{ mA})$)
	ALIMENTACION	(8 - 33) [V DC]
	PRECISIÓN	$Q < 50\% \text{ MEW: } < 1\% \text{ MEW} / Q > 50\% \text{ MEW: } < 2\% \text{ MW; (agua)}$
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-15 - 85) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(0,9 - 15) [l/min]
	PROTECCION	IP65

Tabla 33. Información sensor POW110D3B

FOTO	CARACTERISTICAS TECNICAS	
	TIPO DE SENSOR	SENSOR DE CAUDAL
	MARCA	SEED
	SERIE- MODELO	POW110D3B
	SALIDA	Frecuencia de pulso (Hz) en la prueba horizontal = 7.5Q, Q es el caudal en L / min. (Resultados en un rango de +/- 3%)
	ALIMENTACION	(5 - 24) [V DC]
	PRECISIÓN	3% (caudal de 1L / min a 10L / min)
	TEMPERATURA DE OPERACIÓN	(-25 - 80) [°C]
	RANGO DE MEDICION	(1 - 30) [l/min]
	PROTECCION	NA

Por otra parte, también para los sensores, es adecuado identificar sus respectivas etiquetas según la nomenclatura establecida.

Tabla 34. Descripción e identificación de sensores.

ITEM	ETIQUETA	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VOLTAJE DE SALIDA
1	SND1	Sensor de proximidad capacitivo, revisar el tipo de sensor	cambia su estado al detectar que el nivel del tanque de procesos T1 es máximo	24 VDC
2	SND2	Sensor de proximidad capacitivo, revisar el tipo de sensor	cambia su estado al detectar que el nivel del tanque de procesos T1 es superior al mínimo	24 VDC
3	SND3	Sensor de proximidad capacitivo, revisar el tipo de sensor	cambia su estado al detectar que el nivel del tanque de procesos T2 es máximo	24 VDC
4	SND4	Sensor de proximidad capacitivo, revisar el tipo de sensor	cambia su estado al detectar que el nivel del tanque de procesos T1 es superior al mínimo	24 VDC
5	ST	Sensor de temperatura MBT3560.	mide la temperatura del tanque de procesos T1	2–10 VDC
6	SNA1	Sensor de ultrasonido SIEMENS THE PROBE	mide el nivel del tanque de procesos T1	2–10 VDC
7	SNA2	sensor de nivel con display LSD-30.	mide el nivel del tanque de procesos T1	2–10 VDC
8	SF1	Sensor de flujo Vórtex SV4050.	mide el caudal de salida de la electrobomba EB1	2–10 VDC
9	SF2	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la elecválvula VS1	0–10 VDC
10	SF3	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la elecválvula proporcional VP1	0–10 VDC
11	SF4	Sensor de flujo Vórtex SV4050.	mide el caudal de salida de la electrobomba EB2	2–10 VDC
12	SF5	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la válvula manual VM2	0–10 VDC
13	SF6	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la elecválvula VS2	0–10 VDC
14	SF7	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la elecválvula proporcional VP2	0–10 VDC
15	SF8	Sensor de caudal de agua POW110D3B.	mide el caudal de salida de la elecválvula VS3	0–10 VDC

De manera similar, para los actuadores:

Tabla 35. Descripción e identificación de actuadores.

ITEM	ETIQUETA	NOMBRE	DESCRIPCION	CONTROL DE VOLTAJE
1	EB1	Electrobomba(CM30P7-1).	Vacía el tanque de procesos T1	5 – 24 VDC
2	EB2	Electrobomba(CM30P7-1).	Vacía el tanque de procesos T2	5 – 24 VDC
3	VS1	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	Apertura total al energizarse. Válvula para vaciado del tanque de procesos T1	5 – 24 VDC
4	VS2	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	Apertura total al energizarse. Válvula para recirculación del tanque de procesos T2	5 – 24 VDC
5	VS3	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).	Apertura total al energizarse. Válvula para llenado del tanque de procesos T1	5 – 24 VDC
6	VP1	Electroválvula proporcional. (EV260B)	Apertura proporcional al voltaje de control. Válvula de vaciado para el tanque de procesos T1	0 – 10 VDC
7	VP2	Electroválvula proporcional. (EV260B)	Apertura proporcional al voltaje de control. Válvula de llenado para el tanque de procesos T1	0 – 10 VDC
8	VM1	Válvula manual de tipo bola.	Válvula para vaciado del tanque de procesos T1	NA
9	VM2	Válvula manual de tipo bola.	Válvula para recirculación del tanque de procesos T2	NA
10	VM3	Válvula manual de tipo bola.	Válvula para el vaciado de la planta de procesos	NA
11	ER	Resistencia eléctrica de temperatura	La temperatura que adquiere proporcional al voltaje de control	0 – 10 VDC
12	VC1	Válvula anti retorno.	Válvula para evitar que se devuelva el líquido bombeado por EB1	NA
13	VC2	Válvula anti retorno.	Válvula para evitar que se devuelva el líquido bombeado por EB2	NA

B.5 Mantenimiento Correctivo

A este tipo de mantenimiento también se le suele conocer como mantenimiento reactivo, precisamente por su naturaleza reactiva, dado que se aplica cuando la máquina deja de operar por haberse presentado un evento de falla o avería, con el fin de restablecer su

funcionamiento, a la vez que se procura afectar tan poco como sea posible la productividad.

Lo más usual es que se repare o reemplace el componente dañado.

Las ventajas y desventajas de este tipo de mantenimiento se recogen según lo planteado por Pérez [3]:

Tabla 36. *Ventajas y desventajas mantenimiento correctivo.*

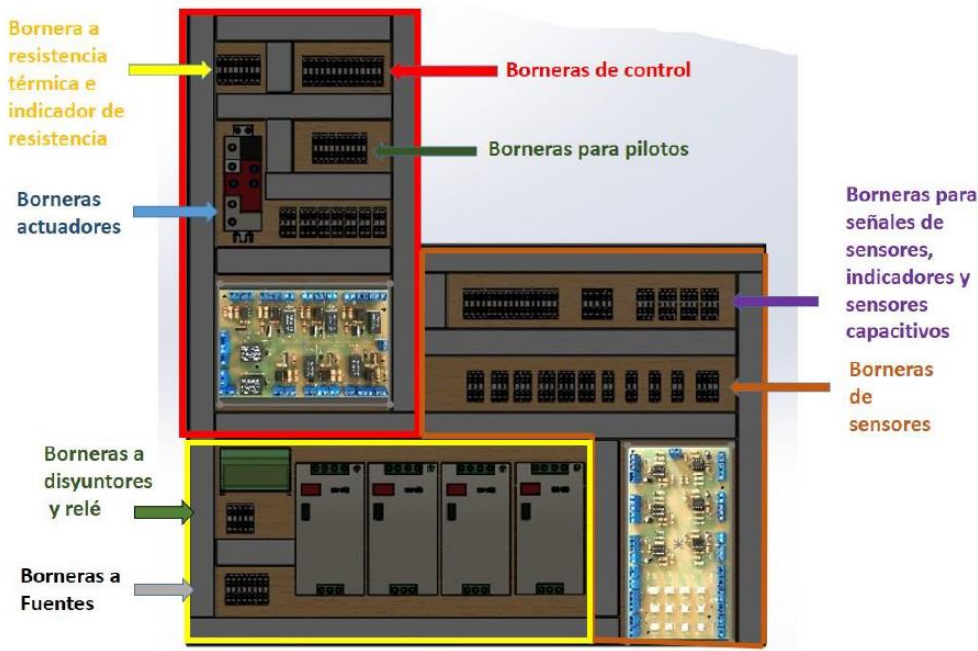
Ventajas	Desventajas
Prolongar la vida útil de los equipos por medio de reparaciones de componentes o piezas y corregir las fallas.	La avería o falla puede aparecer en el momento más inoportuno.
Es imposible determinar la falla.	Las averías o fallas no detectadas a tiempo pueden ocasionar daños más complejos e irreparables en los equipos.
No genera gastos fijos.	Alto inventario de repuestos.
Sin programar ni prever ninguna actividad.	La producción se vuelve impredecible y poco fiable.
Solo se gasta dinero, cuando está claro que se necesita hacerlo.	Se asumen inseguridades económicas, que pueden ser muy relevantes.
A menor plazo se ofrece un buen resultado económico.	Se disminuye la vida útil de los equipos. No hay un diagnóstico confiable de las causas que provocan las fallas, pues se desconoce por qué falló. Por ello, la falla se puede repetir una y otra vez.
Hay sistemas, máquinas y equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos.	Hay tareas o actividades que siempre son rentables, como la limpieza, lubricación, revisión. Determinados equipos necesitan continuamente ajustes y seguimiento.
Estos son los argumentos para que muchas industrias se decanten por el mantenimiento correctivo.	Las averías o fallos y los comportamientos anormales de los componentes, equipos o máquinas no solo ponen en peligro la buena producción, sino la seguridad de las personas, el medio ambiente y los activos de las compañías. Apoyarse solamente en el mantenimiento correctivo –reparar cuando solo se presenta la avería–, se debe contar con técnicos muy especializados y cualificados, tener un alto inventario o stock de repuestos (lucro cesante) y también contar con medios técnicos muy variados.

Tomado y adaptado de: [3]

Para la definición de las actividades de mantenimiento correctivo a implementar, se establece una metodología para identificación de las fallas en función de dónde se encuentran éstas, esto es, si son fallas en actuadores o sensores. Se verá que en ambos casos puede revisarse, primero, la continuidad de las conexiones de estos elementos y, en caso de que se encuentre que ésta no sea la causante de la falla, se procede a revisar la funcionalidad propiamente dicha del elemento. Al final, tras identificar la falla, el paso a seguir debe ser solucionarla, ya sea a partir de una reparación o sustitución de un elemento.

La figura siguiente muestra la segmentación del cuadro eléctrico, en donde se puede apreciar claramente la ubicación de las diferentes borneras que se mencionarán a la hora de detallar los procesos de revisión de continuidad.

Figura 61. Segmentación del cuadro eléctrico.



Tomado de: [1]

5.1 Revisión De Fallas En Actuadores

Si al energizar los actuadores se encuentra que su testigo no enciende, debe confirmarse la continuidad de entradas y salidas de la tarjeta de potencia. Se debe tener presente que, por la configuración propia de las plantas, las electrobombas no se encenderán si la respectiva electroválvula de su mismo nodo no está energizada.

De acuerdo con esto, si se desea comprobar la continuidad en actuadores se debe seguir el siguiente procedimiento, teniendo presente que en cada paso se verifica la continuidad entre los puntos identificados (cosa que se asume en cada punto y, por tanto, se omite su mención). Además, en caso de que no haya continuidad se debe revisar que el cable esté bien conectado y, si esto persiste, se recomienda cambiar el cable:

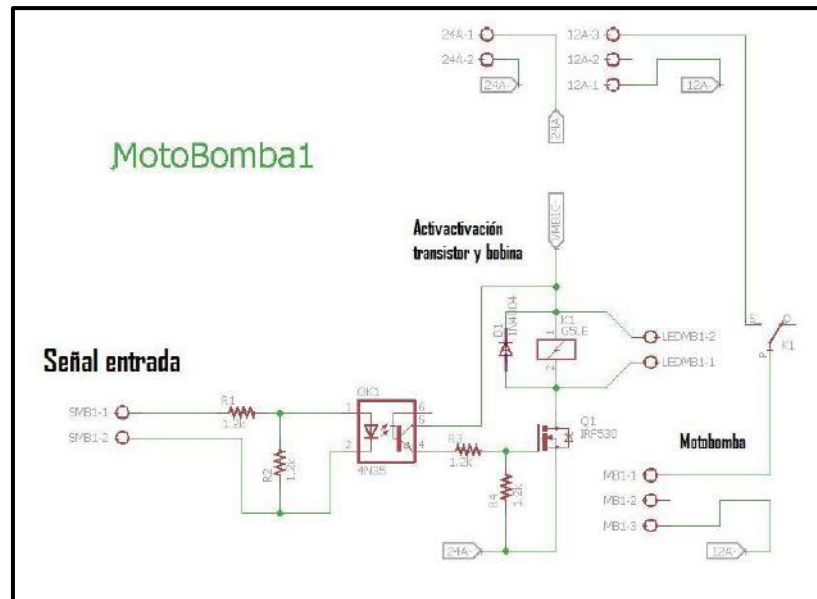
- Se revisan las etiquetas del testigo del actuador y se busca el número respectivo en la bornera para los pilotos.
- Se busca el otro extremo de la bornera por la misma línea y con el número de la etiqueta allí encontrada (véase figura 62) se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.

Figura 62. Conexión entre líneas en una misma bornera.



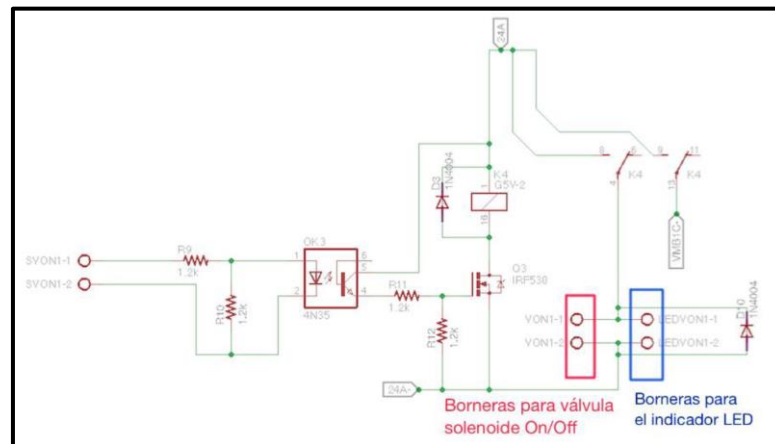
- Se identifican las entradas y salidas de cada circuito teniendo en cuenta la representación esquemática correspondiente para cada actuador (figuras 63, 64 y 65), con la ayuda también de la PCB de la tarjeta de potencia (figuras 66, 67 y 68) y que cada uno de ellos tiene una salida al actuador, una salida al testigo y una entrada proveniente de la alimentación.

Figura 63. Circuito esquemático electrobomba.



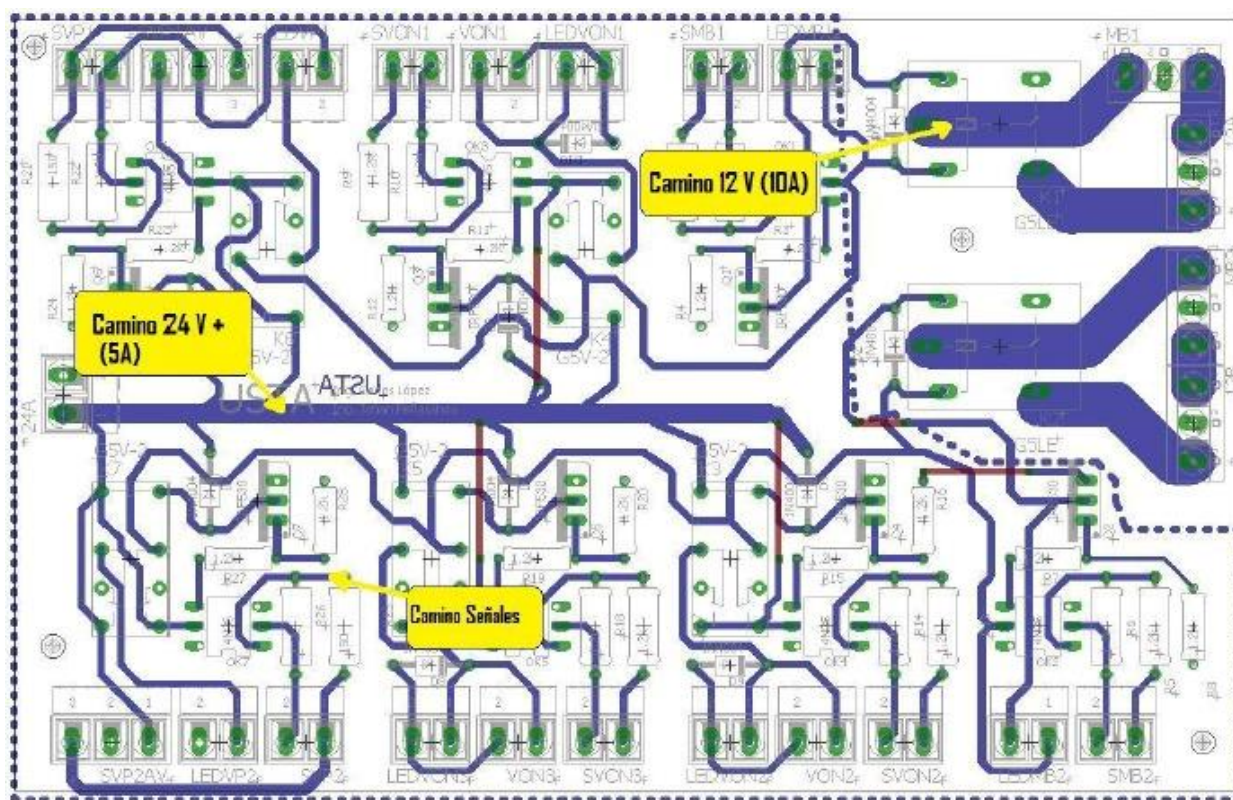
Tomado de: [1]

Figura 64. Circuito esquemático electroválvula ON/OFF.



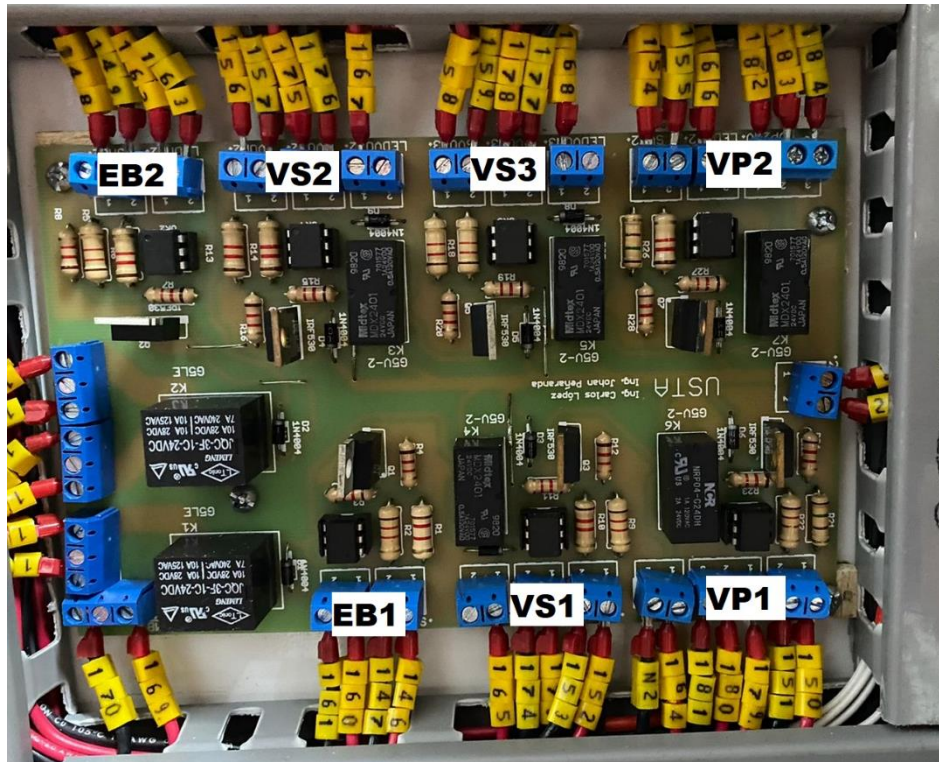
Tomado de: [1]

Figura 67. Alimentación de la tarjeta de potencia.



Tomado de: [1]

Figura 68. Ubicación de los actuadores en su tarjeta.



- Tras haber identificado la salida al actuador, con ayuda de las etiquetas se ubica su conexión en la bornera de actuadores.
- En las borneras ubicadas en el tablero para activación del actuador, se revisan los números de las etiquetas y se buscan estos mismos en las borneras de control.
- Finalmente, tal y como se mencionó previamente, se pasa al otro extremo de la bornera y con el número de etiqueta hallado se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.

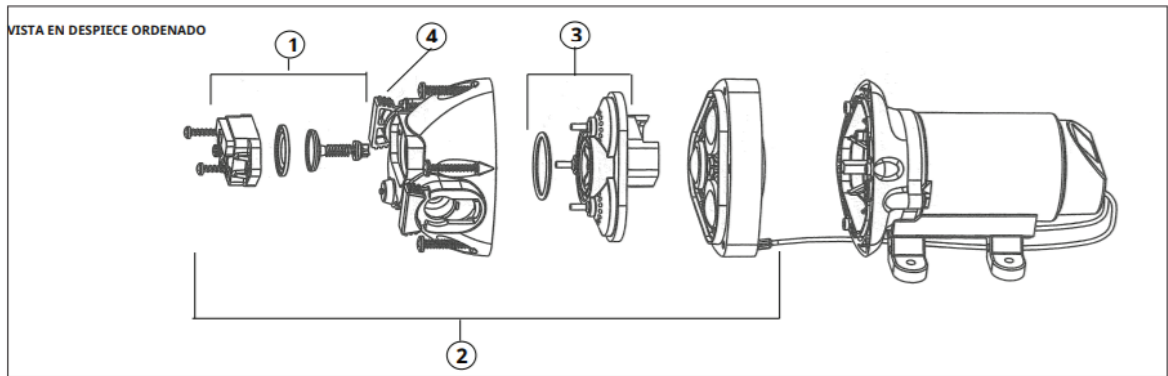
Si se ha confirmado que la falla no está asociada a problemas de continuidad, se debe revisar el voltaje a la salida del circuito de potencia al actuador con ayuda del multímetro con el propósito de determinar si está energizado correctamente y, por ende, si es el actuador el que se encuentra averiado. En caso de que no se evidencie voltaje, se procede a energizar el

actuador manualmente con una fuente regulada, ubicando el negativo a la tierra de la tarjeta de potencia y el positivo a la activación del actuador, dependiendo del voltaje requerido por cada actuador, es decir, 0-10 voltios DC para válvulas reguladas, 24 voltios DC para válvulas ON/OFF y 12 voltios DC para electrobombas. De manera adicional, dependiendo del actuador se debe seguir lo siguiente:

- Para las electroválvulas se debe energizar otra electroválvula y la electrobomba del mismo nodo para luego, usando el multímetro, medir la salida del sensor de la línea de la electroválvula que se desea probar con el fin de saber si hay flujo de líquido o no. En el caso de las reguladas se debe variar el voltaje para confirmar que sea directamente proporcional al voltaje suministrado por la fuente dual, lo cual indicaría que se está regulando correctamente la apertura.
- Para las electrobombas se energiza la electroválvula del mismo nodo y, con una fuente dual, se energiza directamente la motobomba hasta verificar la activación de ella observando la línea correspondiente: si es de llenado del otro tanque, verificar que este proceso inicie y si es de realimentación revisar la turbulencia generada por ésta.

Si, aun después de efectuar todo lo anterior, la electrobomba sigue experimentando problemas, se deben seguir procedimientos adicionales. Para explicar estos procedimientos, considere la siguiente representación esquemática del explosionado de la bomba.

Figura 69. Explosionado electrobomba.



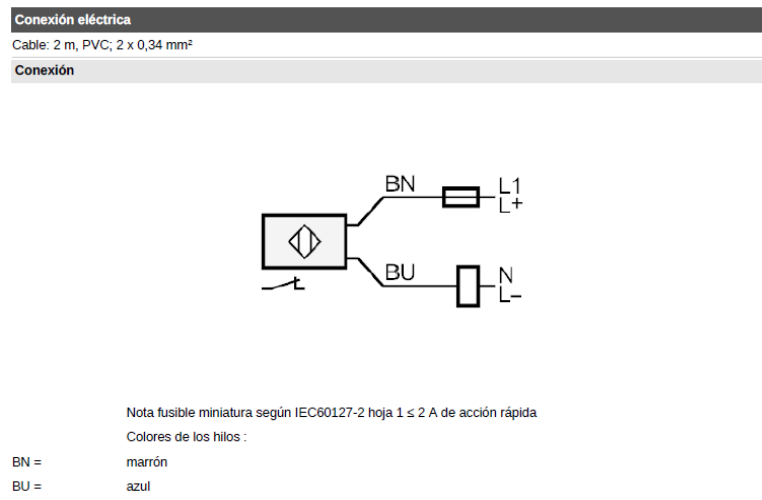
PIEZAS DE SERVICIO DE LA BOMBA DEL SISTEMA DE AGUA AUTOMÁTICO

CLAVE #	DESCRIPCIÓN	3426XXX	3526XXX	3626XXX
1	Interruptor de presión	2091025	2091050	2091040
2	Conjunto de cabezal de bomba	20406047A (2,9 gpm) 20406048A (2,0 gpm)	20406045A	20406046A
3	Conjunto de válvula de retención	20407034	20407034	20407034
4	Clips deslizantes (par)	21000407A	21000407A	21000407A

Tomado de: [5]

En caso de que la bomba no encienda se debe retirar el tornillo central de la parte 1 de la figura anterior y revisar que los cables estén bien conectado (ver figura 70). Además, se debe retirar todo el interruptor de presión y verificar su correcta ubicación.

Figura 70. Conexión del interruptor de presión.



Si, en cambio, no hay flujo o el flujo es poco, es posible que haya obstrucciones en la tubería, rupturas en el casco de la bomba o ruptura del diafragma. Debe confirmarse cuál de estas circunstancias es la causante de la falla. En caso de que exista sospecha de ruptura del diafragma, se debe retirar el conjunto de válvula de retención e inspeccionar que el diafragma esté en buenas condiciones.

Al final, de acuerdo con la metodología anterior, una vez se ha identificado en qué componente particular se localiza la falla, se procede a repararlo o sustituirlo en función del caso particular considerado.

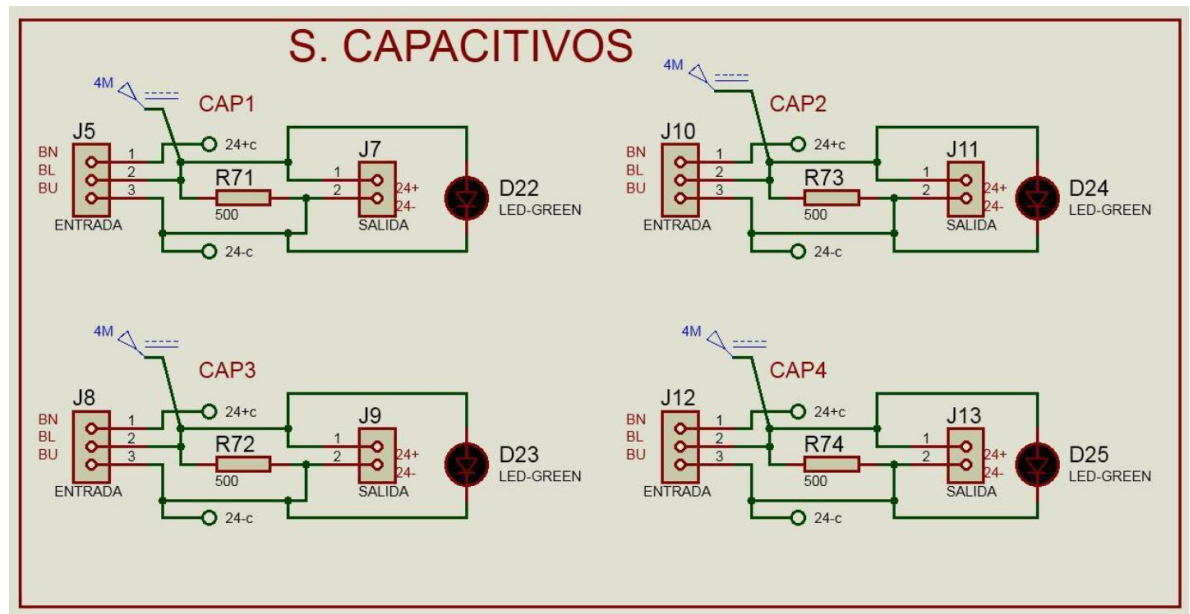
5.2 Revisión De Fallas En Sensores

Primero se debe ejecutar una revisión de continuidad en toda la conexión del sensor, para lo cual se deben seguir una serie de pasos, en los que, de manera análoga a lo descrito en la sección anterior, se verifica la continuidad entre los puntos que se van identificando en la

medida que se encuentren. Además, en caso de que no haya continuidad se debe revisar que el cable esté bien conectado y, si esto persiste, se recomienda cambiar el cable. Los pasos para seguir son:

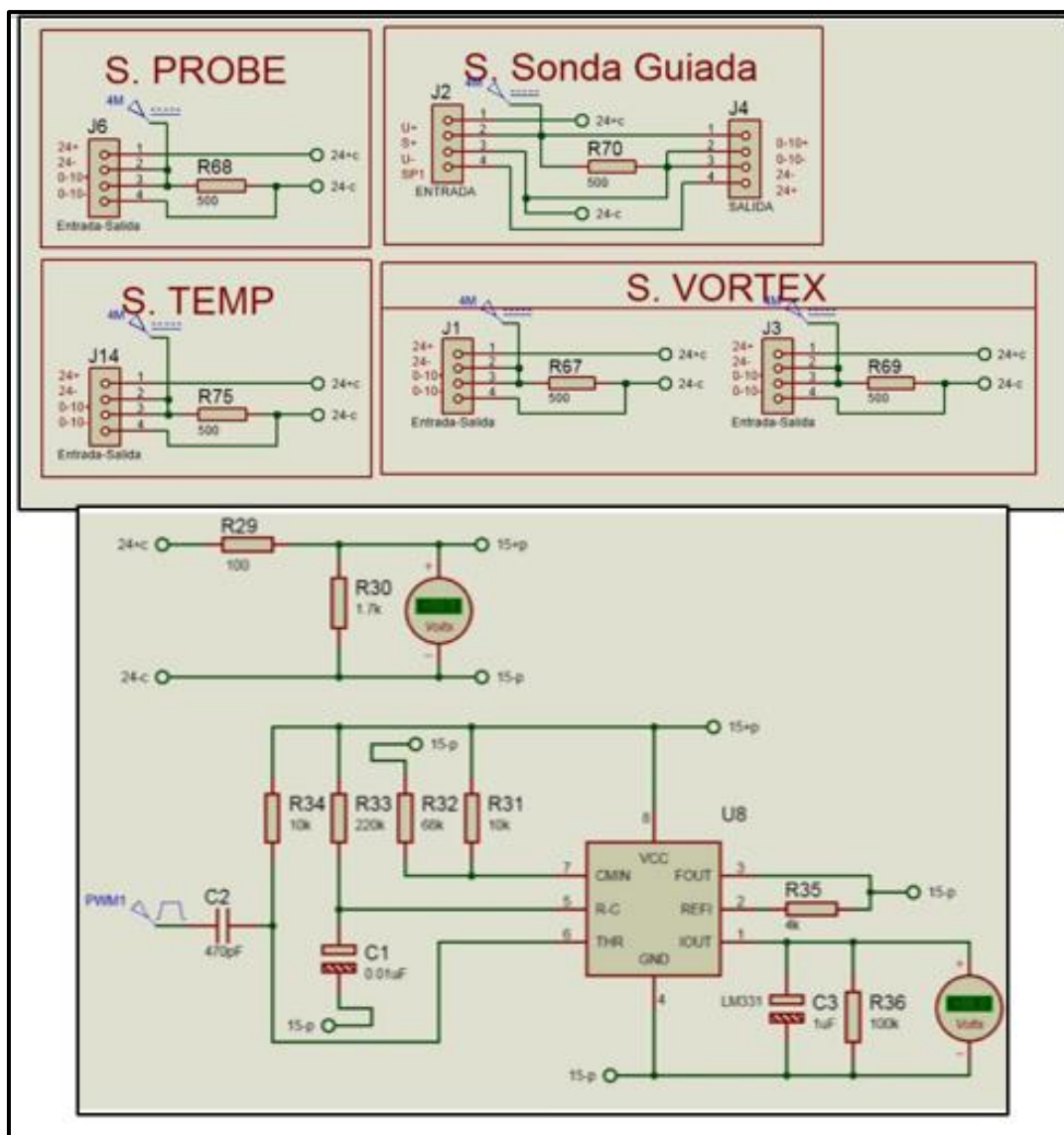
- Revisar el número de la etiqueta de la bornera del sensor ubicada en el tablero y buscar este número en la bornera de sensores. Para el caso especial de los sensores capacitivos se revisan las etiquetas de los testigos localizados en el tablero.
- Se busca el otro extremo de la bornera por la misma línea y con el número de la etiqueta allí encontrada (véase también sección *B.5.1*) se busca el siguiente extremo del cable en la tarjeta de potencia.
- Se identifican las entradas y salidas del circuito dependiendo de qué sensor se está revisando, con ayuda de las representaciones esquemáticas de los circuitos mostradas en las figuras 71 y 72 y de la PCB de la tarjeta de sensores (figuras 73 y 74), con su respectiva localización en las PP (figura 75) y sabiendo que cada circuito tiene dos salidas: una a la señal de medición y otra a la entrada del sensor. En el caso de los sensores de presencia capacitivos, la salida va a los testigos del sensor.

Figura 71. Circuitos esquemáticos sensores capacitivos.



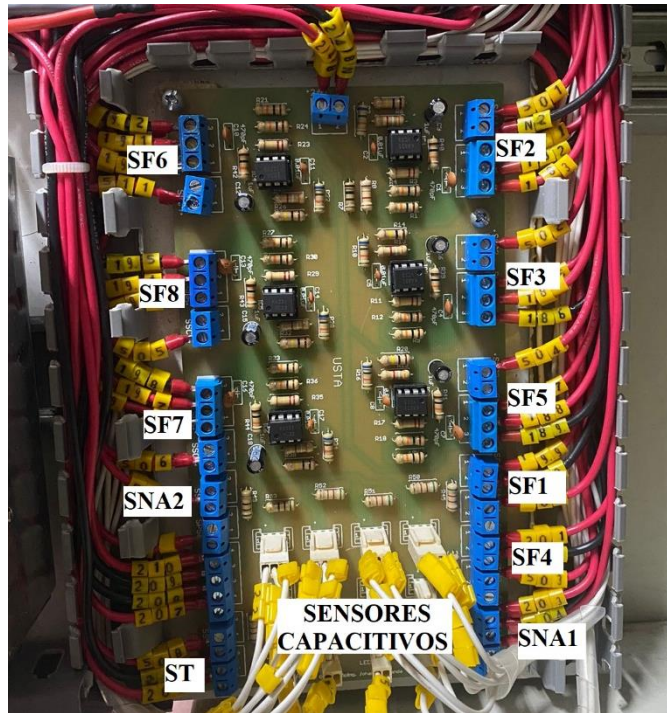
Tomado de: [1]

Figura 72. Circuitos esquemáticos sensores no capacitivos.



Tomado de: [1]

Figura 75. Ubicación de los diferentes sensores en su tarjeta en las PP.

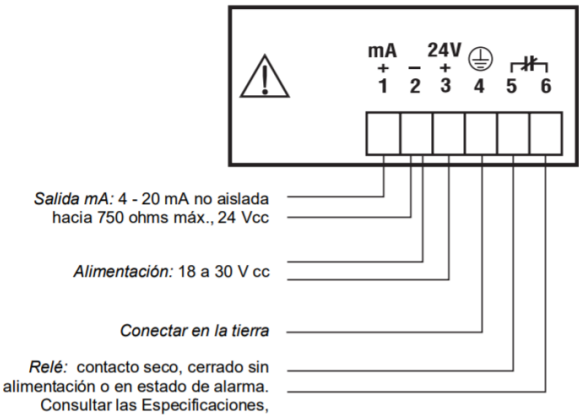


- Identificada la entrada del sensor al circuito, con ayuda de los números de las etiquetas se ubican su conexión en la bornera de sensores.

Una vez revisada la continuidad, se procede a revisar la funcionalidad propia del sensor. Esto se hace dependiendo de la naturaleza del sensor y dependiendo de su lectura.

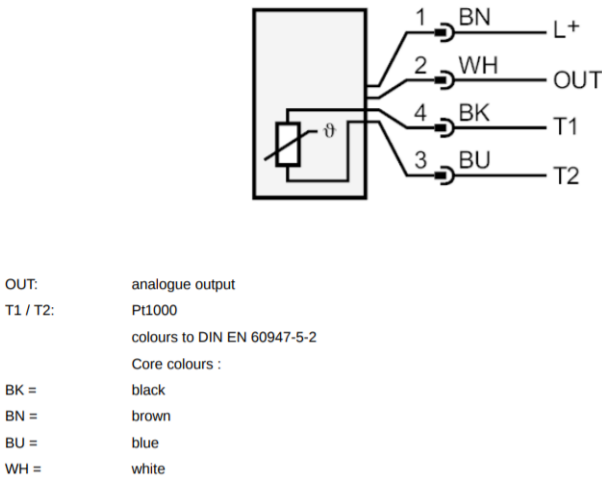
- Para los sensores *the probe*, MBT3560 y LSD-30 (el esquemático de conexión para cada tipo de sensor se presenta en las figuras 76, 77 y 78), se suelta la bornera de señal del sensor y se conecta a una resistencia de 500 ohmios que, a su vez, se conecta a la tierra de la tarjeta de sensores. Luego, con el multímetro se mide la tensión entre los terminales de la resistencia y se varía el parámetro que mide (caudal, temperatura o nivel según sea el caso) y se debería apreciar un cambio directamente proporcional en el voltaje leído.

Figura 76. Conexión sensor the probe.



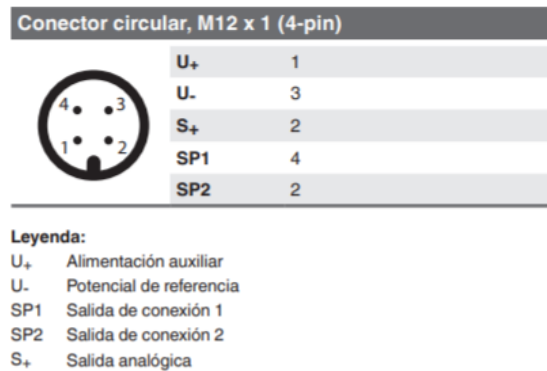
Tomado de: [6]

Figura 77. Conexión sensor vórtex.



Tomado de: [7]

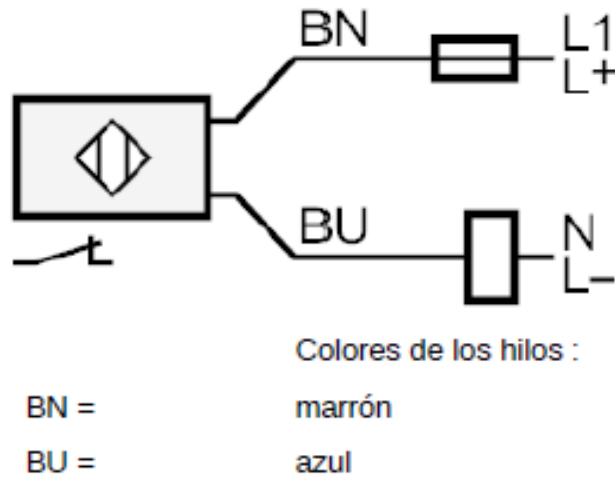
Figura 78. Conexión sensor LSD-30.



Tomado de: [8]

- Para el sensor capacitivo KG0010 se dispone una resistencia de 1 kilo ohmio entre el cable azul y la tierra de la fuente (ver conexión del sensor en la figura 79). Seguidamente, con ayuda del multímetro se mide el voltaje entre los terminales de la resistencia, colocar un objeto a menos de 8mm del sensor, cambiar la tensión de 0 voltios DC a 24 voltios DC y observar cómo el led verde de la parte posterior del sensor se enciende.

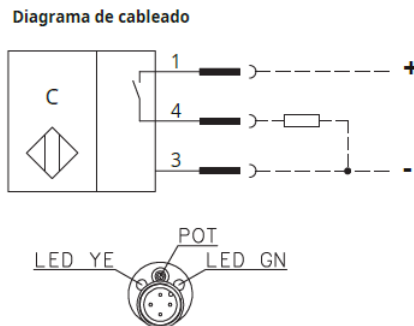
Figura 79. Conexión sensor KG0010.



Tomado de: [9]

- Para el sensor capacitivo KCN-T18PS, de manera similar, se pone una resistencia de 1 kilo ohmio entre la salida de señal y el común de la fuente (ver conexión del sensor en la figura 80), para luego, con el multímetro, medir la tensión entre sus terminales. Después se dispone un objeto a menos de 8 mm, cambiar la tensión de 24 voltios DC a 0 voltios DC y observar cómo el led verde de la parte posterior del sensor se apaga.

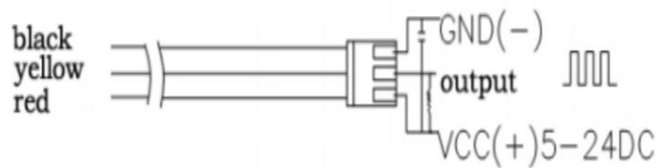
Figura 80. Conexión sensor Bernstein KCN-T18PS.



Tomado de: [10]

- En el caso del sensor POW110DB3, se conecta el positivo del osciloscopio a la señal y el negativo a la tierra de la tarjeta de sensores (ver conexión del sensor en la figura 81), se varía el caudal en la línea y se debe apreciar un cambio de frecuencia directamente proporcional al cambio del flujo en la línea.

Figura 81. *Conexión sensor POW110DB3.*



Tomado de: [11]

6 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se basa en una serie de labores o actividades que se planifican para llevar a cabo dentro de periodos definidos, con el propósito de prevenir la ocurrencia de fallas. Sus principales actividades abarcan la limpieza, la lubricación, la sustitución programada de piezas y los ajustes en los sistemas. La periodicidad de estas actividades se controla con base en el tiempo y suelen incluir también inspecciones, toma de medidas y control de las condiciones de los sistemas.

Entre las ventajas y desventajas que se tienen, se encuentran [3]:

Tabla 37. *Ventajas y desventajas mantenimiento preventivo.*

Ventajas	Desventajas
Disminuye las anomalías o fallas y los tiempos muertos (aumentando la disponibilidad de las máquinas, equipos e instalaciones).	Todo programa que se inicia genera un incremento en los costos.
Aumenta la vida útil de las máquinas, equipos, componentes e instalaciones.	
Hay una mejora efectiva en el uso de los recursos.	Para iniciar se necesita de tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento. Búsqueda de la información, como manuales, historial, fichas técnicas, repuestos, inventarios, reparaciones, etc. Actualizar información, generación de procedimientos, instructivos.
Se disminuyen o se reducen, los niveles de inventarios de repuestos.	
Hay un ahorro económico a largo y mediano plazo.	Tiempo para transferir la información recolectada.
Elaboración de planes de mantenimiento.	
Se definen indicadores de gestión o de desempeño.	
Se documentan procedimientos, instructivos. Se mantiene actualizada la información.	
Se implementan buenas inspecciones de rutinas.	Técnicos de mantenimiento, trabajo de campo adicional. Taxonomía de los equipos. Materiales utilizados, tiempo etc.
Implementación de un buen programa de lubricación.	
Definición de los presupuestos.	
Se aumenta la seguridad industrial para las personas.	Dotación, ordenamiento de almacenes. Rotación de repuestos, actualizar información, inventarios.
Se mejora el enfoque de contaminación ambiental	
Disminución de pagos de horas extras, que se generan continuamente.	Se elevan costos, por entrenamientos, capacitaciones para el personal.
Se aumenta el cumplimiento de la entrega oportuna de producción.	

Tomado y adaptado de: [3]

Como parte de las actividades de mantenimiento preventivo a efectuar sobre las PP se propone lo siguiente: en primer lugar, se presentan los métodos de diagnóstico de los actuadores, es decir, las electrobombas, las electroválvulas y la resistencia eléctrica y, luego, se abarcan los sensores de nivel, de caudal y de temperatura. Todas estas actividades deben ser realizadas con una periodicidad de una vez cada dos meses. Con ellas se debe diligenciar en paralelo el formato de revisión de elementos de la PP que se anexa a este manual.

6.1 Electrobombas (EB1 y EB2)

La electrobomba por revisar y una de las electroválvulas asociadas a su línea (es decir, que pertenezca al mismo nodo) deben ser energizadas con fuentes de 24 voltios DC y 10 voltios DC, respectivamente. Luego se debe verificar el cambio en el nivel del líquido de ambos tanques. Por ejemplo, si se desea verificar el funcionamiento de EB2, debe energizarse, además de la bomba, la válvula solenoide VS3, mientras se observa que el nivel de T2 disminuye a la vez que el de T1 aumenta.

Para el caso particular en que se quiera verificar el funcionamiento de EB2 con la línea que realimenta a T2, se deben energizar EB2 y VS2, pero, en lugar de esperar cambio de nivel en el tanque, lo que debe examinarse es que haya turbulencia en T2, pues está siendo realimentado.

6.2 Electroválvulas (VS1, VS2, VS3 y VS4)

En el caso de las válvulas ON/OFF, se sigue un procedimiento similar al que fue descrito en la sección anterior. Se verifica con todas las válvulas, energizándolas en conjunto con la electrobomba de su nodo y revisando el cambio en nivel de los tanques.

Mientras tanto, para las válvulas reguladores, éstas son energizadas en conjunto con la electrobomba de su respectivo nodo y, con la ayuda del multímetro, se toma medida de la salida de voltaje del caudalímetro de esa línea, confirmando que haya cambio de voltaje al variar la tensión de entrada a la válvula.

6.3 Resistencia Eléctrica (ER)

Se debe llenar el tanque de suministro T2 manualmente primero, para luego llenar T1 con la alimentación de la bomba EB2 y la apertura de la electroválvula VS3. Dado lo anterior, se energiza con la fuente de 10 voltios DC la resistencia. En este punto se debe confirmar que el testigo de la resistencia, ubicado en la parte superior de la bornera esté encendido, con lo que se indica su activación.

Además, para verificar el funcionamiento de la resistencia, con la ayuda del multímetro se debe medir la salida del sensor de temperatura TT y revisar que el voltaje aumente a medida que avance el tiempo, cosa que indica un aumento de temperatura en el agua del tanque. Adicionalmente, se deberían poder apreciar pequeñas perturbaciones y aparición de burbujas en el agua que se encuentra alrededor de la resistencia cuando la temperatura sea lo suficientemente alta.

6.4 Sensores De Nivel (SNA y SND)

Para ambos casos, se debe llenar el tanque T2 manualmente y, seguidamente, llenar el tanque T1 encendiendo la bomba EB2 y energizando la electroválvula VS3.

Primero, para el caso del sensor *the probe* (SNA), se debe ver si se encuentra energizado abriendo la tapa situada en su parte superior y observando si la pantalla se encuentra encendida. Para su calibración, con el tanque T1 lleno, se presiona el botón “20” hasta que en la pantalla se pueda leer “c20”, lo cual indica que se asigna esta condición como el nivel más alto de medición. Luego se vacía el tanque con la válvula manual que se encuentra situada debajo suyo y, de manera similar, se presiona el botón “4” hasta que en la pantalla se pueda apreciar “c4”, indicando que éste es el nivel más bajo por medir. Finalmente, haciendo que el nivel del tanque varíe (llenándolo o vaciándolo) y leyendo con el multímetro la salida SNA1 se debe observar que éste varíe proporcionalmente al nivel del agua.

Mientras tanto, para el sensor LSD-30, inicialmente se comprueba que se encuentre energizado revisando que la pantalla ubicada en su parte superior esté encendida. Luego, se varía el nivel del tanque T1, con el multímetro se mide la salida LIT y deberían ser apreciados cambios en los voltajes de forma proporcional al nivel del agua.

6.5 Sensores De Caudal (SF1, SF2, SF3, SF4, SF5, SF6, SF7 y SF8)

En lo que respecta a sensores de caudal se pueden tener dos casos: los sensores vórtex y los sensores POW110DB3.

Primero, para los sensores vórtex, que son los situados a la salida de cada electrobomba, se debe energizar su respectiva electrobomba asociada y la electroválvula regulada que esté

en el mismo nodo. Luego, se varían las tensiones de entrada a la electroválvula, con el multímetro se mide la salida del sensor y se deben apreciar variaciones proporcionales en el voltaje medido.

Por otro lado, los sensores POW110DB3 son los que están ubicados en todas las líneas de la planta, exceptuando las encargadas del vaciado manual de cada tanque. Por esta razón, se tienen tres casos principales: los sensores que están después de las válvulas reguladas; los sensores que están después de las válvulas ON/OFF; y el sensor que se encuentra después de la válvula manual. Se resalta que cada prueba debe hacerse teniendo agua en el tanque de donde se desea extraer con la electrobomba.

El primer caso, esto es, para los sensores posteriores a las válvulas reguladas, consiste en el siguiente proceso: se energiza la electrobomba y la electroválvula que estén en la línea de interés. Después, con el multímetro se mide la salida del sensor y se verifica que existan variaciones en el voltaje a medida que se varían las tensiones de entrada de la electroválvula.

En segundo lugar, para los sensores que están luego de las válvulas ON/OFF, se energiza la electrobomba y la electroválvula que correspondan a la misma línea y, a continuación, se debe energizar la electroválvula regulada del mismo nodo. Por último, con el multímetro se mide la salida del sensor y se debe observar el cambio inversamente proporcional del voltaje frente a variaciones en la tensión de entrada de la electroválvula.

Al final, para el sensor que se halla después de la válvula manual, se energiza cualquier electroválvula que se halle en el mismo nodo y, una vez más con el multímetro, se mide la salida del sensor y se verifica el cambio de voltaje cuando la apertura de la válvula manual varía.

6.6 Sensor De Temperatura (ST)

Esta prueba requiere el llenado manual del tanque de suministro T2 para luego llenar el tanque de procesos T1 con la alimentación de la bomba EB2 a través de la válvula VS3. A continuación, la resistencia se energiza con 10 voltios DC y se mide el cambio de voltaje en la salida del sensor TT con el multímetro.

6.7 Sensor De Proximidad

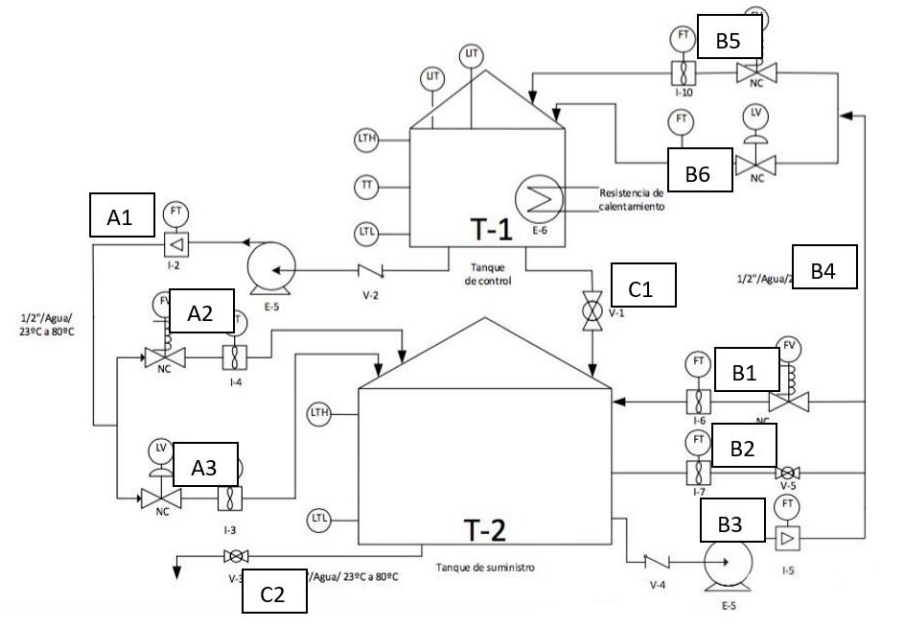
Para su diagnóstico únicamente se debe situar un objeto a menos de ocho milímetros de él y, en el caso particular del KG0010 que es normalmente cerrado, bajo esta condición el testigo debería apagarse. Por el contrario, para el caso del BERNSTEIN KCN-T18PS, que es normalmente abierto, el testigo debería apagarse.

7 Apéndices

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS		REVISION DE ELEMENTOS DE LAS PLANTAS DE PROCESOS			
		NOMBRE:			FECHA:
		DEJAR REGISTRO EN HOJA DE VIDA DE CADA UNA DE LA INSTRUMENTACION			
ACTUADORES	ETIQUETA	NOMBRE	INSTRUMENTO	TESTIGO	
	EB1	Electrobomba(CM30P7-1).			
	EB2	Electrobomba(CM30P7-1).			
	VS1	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).			
	VS2	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).			
	VS3	Electroválvula solenoide ON-OFF (EV220B).			
	VP1	Electroválvula proporcional. (EV260B)			
	VP2	Electroválvula proporcional. (EV260B)			
	VM1	Válvula manual de tipo bola.			
	VM2	Válvula manual de tipo bola.			
	VM3	Válvula manual de tipo bola.			
	ER	Resistencia eléctrica de temperatura			
	VC1	Válvula anti retorno.			
	VC2	Válvula anti retorno.			
SENSORES	NOMBRE	INSTRUMENTO	INSTRUMENTO		
	SND1	Sensor de proximidad capacitivo			
	SND2	Sensor de proximidad capacitivo			
	SND3	Sensor de proximidad capacitivo			
	SND4	Sensor de proximidad capacitivo			
	ST	Sensor de temperatura MBT3560.			
	SNA1	Sensor de ultrasonido SIEMENS THE PROBE			
	SNA2	sensor de nivel con display LSD-30.			
	SF1	Sensor de flujo Vortex SV4050.			
	SF2	Sensor de caudal de agua POW110D3B.			
	SF3	Sensor de caudal de agua POW110D3B.			
	SF4	Sensor de flujo Vortex SV4050.			
	SF5	Sensor de caudal de agua POW110D3B.			
	SF6	Sensor de caudal de agua POW110D3B.			
SF7	Sensor de caudal de agua POW110D3B.				
SF8	Sensor de caudal de agua POW110D3B.				

En caso de encontrar fugas de agua especificar en el diagrama en que parte se encuentra la fuga marcándolo con un esfero de color rojo.

PARTE FISICA	NOMBRE	ESTADO
	TUBERIA (INDIQUE LA LINEA DAÑADA)	
	TANQUE T1	
	TANQUE T2	
	SOPORE POSTERIOR DE SENSOR THE PROBE	
	PIEZAS IMPRESAS EN 3D (INDIQUE LA LINEA DAÑADA)	



FIRMA

El mantenimiento general preventivo se proyecta para que se realice alrededor de seis veces anuales aproximadamente (cada dos meses). No obstante, esto estará sujeto al uso dado por los estudiantes, ya que el no usar la planta también generar daños en ella. Según las condiciones anteriores este mantenimiento se puede adelantar o postergar entre 15 a 30 días en promedio. De acuerdo con esto, se propone el siguiente cronograma de actividades de mantenimiento para los años venideros.

MES	ENE.	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MTTO PREVENTIVO		X		X		X		X		X		X