

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica



“Unificación y digitalización de sistemas de control independientes para facilitar la recolección de datos, mejorar la operación y monitorización del funcionamiento de los equipos en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos”

Informe de proyecto de Graduación para optar por el título de ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Juan Pablo Vargas Villalobos

Zarcero, diciembre de 2020



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Zarcelo, 04 de diciembre 2020

Estudiante



Juan Pablo Vargas Villalobos

Cédula: 207630347

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN DEL INFORME FINAL**

El Profesor Asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Juan Pablo Vargas Villalobos.

Proyecto: “Unificación y digitalización de sistemas de control independientes para facilitar la recolección de datos, mejorar la operación y monitorización del funcionamiento de los equipos en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos”

**RODOLFO JOSE
PIEDRA
CAMACHO
(FIRMA)** Digitally signed by
RODOLFO JOSE PIEDRA
CAMACHO (FIRMA)
Date: 2020.12.08
21:33:19 -06'00'

Ing. Rodolfo Piedra Camacho
Asesor


Cartago, 14 de diciembre 2020

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Jurado Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Juan Pablo Vargas Villalobos

Proyecto: “Unificación y digitalización de sistemas de control independientes para facilitar la recolección de datos, mejorar la operación y monitorización del funcionamiento de los equipos en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos”

 <p>Digitally signed by Miembros del Jurado GABRIELA ORTIZ LEON (FIRMA) Date: 2020.12.14 10:52:19 -06'00'</p>	<p style="text-align: center;">IVAN ARAYA MENESES (FIRMA)</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Firmado digitalmente por IVAN ARAYA MENESES (FIRMA) Fecha: 2020.12.14 19:33:24 -06'00'</p>
Dr. -Ing. Gabriela Ortiz León Jurado 1	MSc. -Ing. Iván Araya Meneses Jurado 2

<p>JOHANNA VANESSA MUÑOZ PEREZ (FIRMA)</p>	<p>Firmado digitalmente por JOHANNA VANESSA MUÑOZ PEREZ (FIRMA) Fecha: 2020.12.14 13:35:16 -06'00'</p>
Ing. Johanna Muñoz Pérez	

Jurado 3

Los miembros de este Jurado dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 14 de diciembre 2020

Resumen

El objetivo de este proyecto consiste en realizar un sistema que pueda unificar y digitalizar el control de la caldera y el sistema de bombeo de agua potable del Hospital de San Carlos para facilitar la recolección de datos, mejorar la operación y monitorización del funcionamiento de los equipos.

Para alcanzar los objetivos propuestos se dividió el problema en tres secciones: un sistema de control centralizado que recolecta las diferentes señales y permite el monitoreo y el control de estas desde una PC; un sistema de recolección y manejo de datos que almacena los datos del funcionamiento en la nube y los muestra de manera remota; y un sistema para visualizar información en campo del panel de bombeo que utiliza realidad aumentada para ayudar a los operarios mediante guías para atención de fallos, reconocimiento de los equipos y visualización de las señales.

Al final se demuestra el correcto funcionamiento de los sistemas y la operabilidad de estos al conectarlos con los diferentes equipos.

Palabras clave: *Monitoreo, control, recolección de datos, almacenamiento de datos, sistema de bombeo, caldera,*

Abstract

The scope of this project was to design a system capable of unify and digitalize the control of the boiler and the drinking water pumping system of the San Carlos Hospital, to ease the recollection of data, improve the operation and monitorization of the devices.

To fulfill the established objectives, the problem was divided into three sections: the centralized control system, which is in charge of recollecting the different signals and enabling the monitorization and control of them from a PC; the data recollection and management system, which is responsible of the storage of the functioning data in the cloud and the remote visualization of them; and a system for the visualization of information on pumping control panel, which uses augmented reality in order to help the operators to attend failures, device acknowledgement and signal visualization.

Finally, the correct functioning of these systems and their operability when connected to different devices is demonstrated.

Keywords: *monitoring, control, data collection, data storage, pumping system, boiler.*

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres que me han apoyado en todo momento, han sido mi inspiración y mi motivación y siempre se han esforzado para ayudarme a llegar hasta aquí. Igualmente, a mis compañeros que siempre estuvieron presentes.

Agradecimientos

Quiero agradecer primero a Dios y a la Virgen de los Ángeles porque siempre me dieron salud, me protegieron y fueron mis guías y mi compañía en los momentos más complicados. A mí familia que me ha apoyado siempre y han estado para mí en todo momento. A mis compañeros de carrera y del equipo de futbol sala que se convirtieron en mis amigos y fueron una segunda familia para mí. También, a mi profesor asesor que fue un excelente guía en este proceso.

Índice General

Índice de figuras	iii
Índice de tablas	vi
1. Introducción.....	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.2. Entorno del proyecto.....	1
1.3. Diagrama Causa – Efecto.....	2
1.4. Definición del problema.....	3
1.5. Objetivos.....	6
2. Marco Teórico	7
2.1 Proceso Diseño de Ingeniería.....	7
2.2 Modelo OSI.....	9
2.3 Protocolo de Comunicación Modbus	11
2.4 Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).....	15
2.5 IoT (Internet de las Cosas).....	17
2.6 Realidad Aumentada	19
2.7 Industria 4.0	21
2.8 Calderas.....	22
2.9 Mantenimiento de Equipos.....	25
3 Marco Metodológico.....	27
3.1 Limitar el problema	27
3.2 Diagnóstico de los equipos y el entorno	28
3.3 Definir soluciones a implementar	28
4 Desarrollo de la solución	36
4.1 Diagnóstico de los equipos a conectar y sus respectivas señales.....	36
4.2 Sistema de Control Centralizado (SCADA)	44
4.3 Sistema de recolección y manejo de datos.....	59
4.4 Sistema para visualizar información en campo del panel de bombeo	65
4.5 Selección de la PC industrial	84
5 Validación.....	86
5.1 Pruebas de validación para el sistema de control centralizado.....	88
5.2 Pruebas de validación para el Sistema de recolección y manejo de datos ..	93

5.3 Pruebas de validación para el sistema de visualizar información en campo

96

6	Análisis económico	100
7	Conclusiones.....	102
8	Recomendaciones.....	104
9	Referencias bibliográficas	105
10	Anexos	111
10.1	Guía de usuario del sistema de control centralizado SCADA.....	111
10.2	Pantallas disponibles desde el <i>AVEVA Insight</i>.....	119
10.3	Vídeo de validación del proyecto.....	130

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama Causa – Efecto.	3
Figura 2. Pasos para el desarrollo de problemas de diseño de ingeniería.	7
Figura 3. Ejemplo de modelo OSI.	11
Figura 4. Diagrama de bloques de maestro y esclavo en la transmisión por RTU.	13
Figura 5. Estructura de datos en la transmisión por Modbus TCP/IP.	15
Figura 6. Esquema típico de conformación de un sistema SCADA.	16
Figura 7. Diagrama del modelo de comunicación dispositivo a la nube.	18
Figura 8. Arquitectura para Internet de las Cosas.	18
Figura 9. Código QR.	20
Figura 10. Marcador de Realidad Aumentada.	20
Figura 11. Realidad Aumentada con geolocalización.	21
Figura 12. Realidad aumentada con Google Glass.	21
Figura 13. Las nueve tecnologías que están transformando la producción industrial.	22
Figura 14. Especificación de partes de la caldera.	23
Figura 15. Caldera pirotubular de cuatro pasos.	24
Figura 16. Modelo de caldera acuotubular de un solo tubo.	25
Figura 17. Metodología empleada en el proyecto.	27
Figura 18. Relación de la división del problema con las soluciones propuestas.	35
Figura 19. Sistema de bombeo del Hospital de San Carlos.	37
Figura 20. Control realizado por el PLC para mantener la presión constante.	38
Figura 21. Conexión física de los controladores con la PC.	46
Figura 22. Pantalla de información general del SCADA para ambos sistemas.	47
Figura 23. Pantalla de información principal del panel de bombeo en el SCADA.	48
Figura 24. Pantalla emergente para visualizar los detalles de cada bomba.	49
Figura 25. Pantalla para cambiar parámetros de configuración de la caldera.	50
Figura 26. Pantalla para visualización de alarmas activas.	51
Figura 27. Pantalla para visualización del historial de alarmas del sistema de bombeo. ...	52
Figura 28. Pantalla de información general del estado de la caldera.	53
Figura 29. Pantalla de información general del estado del quemador.	54
Figura 30. Pantalla emergente para visualizar la configuración del sensor de presión de la caldera.	55
Figura 31. Pantalla de configuración de la caldera.	56
Figura 32. Pantalla para visualización del historial de alarmas de la caldera.	57
Figura 33. Pantalla emergente sobre descripción de los errores de la caldera.	58
Figura 34. Panel de información general del sistema de recolección y manejo de datos. 62	
Figura 35. Panel que muestra el valor actual de la señal en la nube.	62
Figura 36. Panel que muestra el histórico de datos en la nube durante diferentes periodos de tiempo.	63
Figura 37. Correo enviado cuando una alarma se activa en el sistema de recolección y manejo de datos.	64
Figura 38. Correo enviado cuando una alarma se normaliza en el sistema de recolección y manejo de datos.	64

Figura 39. Escena y subescena del panel de control de las bombas visto desde el frente.	68
Figura 40. Escena y subescena del panel de control de las bombas visto desde los costados.	69
Figura 41. Escena de las bombas desde diferentes puntos de observación.	70
Figura 42. Escena del sensor de cloro desde diferentes puntos de observación.	71
Figura 43. Escena de los sensores de flujo desde diferentes puntos de observación.	72
Figura 44. Esquema del procedimiento para conectar una PC al PLC.	73
Figura 45. Esquema del procedimiento para limpieza general del panel.	76
Figura 46. Esquema del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.	80
Figura 47. Esquema del procedimiento para ejecutar ante fallo de la bomba de pozo.	82
Figura 48. Fórmula de la desviación estándar.	88
Figura 49. Historial de los fallos de bombeo con la activación del fallo del sensor de nivel.	91
Figura 50. Visualización de un fallo en el sistema de visualización en campo.	97
Figura 51. Visualización de un comentario sobre una escena en el sistema de visualización en campo.	98
Figura 52. Registro de los diferentes procedimientos realizados en el sistema de visualización en campo.	99
Figura 53. Encabezado general del sistema SCADA.	111
Figura 54. Pantalla general del SCADA.	112
Figura 55. Pantalla principal del sistema de bombeo.	113
Figura 56. Pantalla principal del sistema de bombeo.	114
Figura 57. Pantalla de alarmas del sistema de bombeo.	115
Figura 58. Pantalla general de la caldera.	116
Figura 59. Pantalla del quemador de la caldera.	117
Figura 60. Pantalla de configuración de la caldera.	118
Figura 61. Pantalla de configuración de la caldera.	118
Figura 62. Pantalla de descripción de los fallos de la caldera.	119
Figura 63. Panel de información general de ambos sistemas.	120
Figura 64. Presión de salida bombeo representación numérica.	120
Figura 65 . Presión de salida bombeo representación gráfica.	121
Figura 66. Frecuencia de salida de las bombas representación numérica.	121
Figura 67. Frecuencia de salida las bombas representación gráfica.	122
Figura 68. Corriente en las bombas representación numérica.	122
Figura 69. Corriente en las bombas representación gráfica.	123
Figura 70. Niveles de los tanques representación numérica.	123
Figura 71 . Niveles de los tanques representación gráfica.	124
Figura 72. Mediciones de los sensores de flujo representación numérica.	124
Figura 73. Mediciones de los sensores de flujo representación gráfica.	125
Figura 74. Mediciones del sensor de cloro representación numérica.	125
Figura 75. Mediciones del sensor de cloro representación gráfica.	126
Figura 76. Tasa de modulación de la caldera representación numérica.	126
Figura 77. Tasa de modulación de la caldera representación gráfica.	127
Figura 78. Presión de vapor representación numérica.	127

Figura 79. Presión de vapor representación gráfica	128
Figura 80. Temperatura interna de la caldera representación numérica.....	128
Figura 81. Temperatura interna de la caldera representación gráfica	129
Figura 82. Posición de los servomotores de gas y de aire representación numérica.	129
Figura 83. Posición de los servomotores de gas y de aire representación gráfica.....	130

Índice de tablas

Tabla 1. Capas del modelo OSI.....	9
Tabla 2. Bloques del modelo de datos de Modbus.	12
Tabla 3. Requerimientos para el sistema de unificación de control en un punto.	29
Tabla 4. Comparación de las características de un SCADA con los requerimientos de la unificación del control en un punto.	30
Tabla 5. Requerimientos para la recolección y almacenamiento de datos.	31
Tabla 6. Requerimientos para facilitar conocimiento e información de los equipos a los operarios.	33
Tabla 7. Comparación de las características de un sistema de realidad aumentada con los requerimientos para facilitar información de los equipos.	33
Tabla 8. Descripción de los componentes del sistema de bombeo.....	37
Tabla 9. Señales y direcciones de memoria extraídas del sistema de bombeo.	39
Tabla 10. Rangos de funcionamiento para las señales de los sensores del sistema de bombeo.	41
Tabla 11. Características de componentes principales de la caldera.	41
Tabla 12. Características de comunicación de los controladores de la caldera.	42
Tabla 13. Parámetros extraídos del controlador del quemador.	42
Tabla 14. Parámetros extraídos del controlador de proceso.	43
Tabla 15. Señales de alarma para el sistema de bombeo.	50
Tabla 16. Señales de fallo para la caldera.....	58
Tabla 17. Señales de extraídas del PLC para usarse en el sistema de realidad aumentada.....	67
Tabla 18. Descripción del procedimiento para conectar una PC al PLC.	74
Tabla 19. Descripción del procedimiento para limpieza general del panel.....	77
Tabla 20. Descripción del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.	80
Tabla 21. Descripción del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.	82
Tabla 22. Mediciones para conocer el espacio en memoria ocupado por las variables de alerta.....	90
Tabla 23. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en el SCADA con respecto al monitor de la caldera.	93
Tabla 24. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en AVEVA Insight con respecto al cambio en el sistema de bombeo.	94
Tabla 25. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en AVEVA Insight con respecto al cambio en la caldera.	95
Tabla 26. Costos de los diferentes equipos y licencias que se necesitan para implementar el proyecto.	100

1. Introducción

1.1. Generalidades de la empresa

El presente proyecto se realiza con la empresa Electro Beyco. Esta es una empresa nacional que está ubicada en Ciudad Quesada de San Carlos, cuenta con más de 40 años de experiencia en el suministro e instalación de materiales eléctricos y soluciones electromecánicas, y trabaja con diferentes sectores de la industria como, por ejemplo, agroindustria, generación y distribución, manufactura, construcción, turismo, integración y automatización de procesos, entre otros. [1]

La empresa cuenta con un departamento de servicios, con un amplio taller de ensamble y con gran cantidad de herramientas y equipos. Ingenieros y técnicos con certificaciones especializadas y capacitaciones de fábrica. Son integradores y desarrolladores certificados por Schneider Electric, LS Electric, EATON, AVEVA, Legrand, Topaz, entre otros, para aplicaciones de automatización, interfaces con pantallas táctiles, instrumentación y softwares.

Específicamente el proyecto se va a desarrollar en el Hospital de San Carlos, la empresa Electro Beyco está a cargo de proponer y desarrollar mejoras en el funcionamiento de los equipos de la casa máquinas de este hospital.

1.2. Entorno del proyecto

El hospital de San Carlos se encuentra ubicado en un punto estratégico y es de suma importancia para los habitantes de este cantón y de algunos otros cantones vecinos como, por ejemplo, Guatuso, Zarcero y Río Cuarto. El hospital brinda diferentes servicios como: Medicina, Cirugía, Ginecología, Obstetricia, Neonatología y Pediatría. Tiene cinco quirófanos totalmente equipados y funcionando completamente. San Carlos es el cantón más grande del país y de ahí la importancia del correcto funcionamiento de dicho hospital. [2]

La casa de máquinas del Hospital de San Carlos cuenta con una serie de equipos que son fundamentales para el correcto funcionamiento del hospital, entre ellos el panel de bombeo, compresores, calderas, plantas eléctricas, entre otras.

La mayor parte de la creación del proyecto se realizó en el taller de ensamble de Electro Beyco, el cual está equipado con diferentes equipos y herramientas que facilitan el desarrollo de diferentes proyectos, este cuenta con demos y diferentes equipos eléctricos para pruebas como, por ejemplo, algunos PLC, variadores de frecuencia, sensores de presión, sensores de temperatura, multímetros, motores, entre otros equipos y herramientas. También, tiene computadoras equipadas con gran cantidad de softwares y licencias para desarrollo de ciertas aplicaciones.

Es importante aclarar que el proyecto de graduación que se realizó es una etapa de varias que tiene el proyecto total. La etapa que el proyecto de graduación cubrió fue la de analizar y diseñar una solución concreta al problema. Posterior a esto, se deben crear contratos, implementar la solución, realizar puesta en marcha, entre otras. No obstante, el proyecto de graduación se validó usando los equipos reales sobre los que se va a implementar.

1.3. Diagrama Causa – Efecto

Antes de plantear y delimitar el problema es importante encontrar cuáles pueden ser todas las causas que lo provocan, porque permite crearse una idea más clara del problema con el que se está trabajando, igualmente ayuda a contextualizar mejor el proyecto. En este caso, el problema en forma general es que en la casa de máquinas del hospital de San Carlos no existe un monitoreo ni un control centralizado de los equipos. A continuación, en la figura 1 se muestra un diagrama con las principales causas y consecuencias del problema.

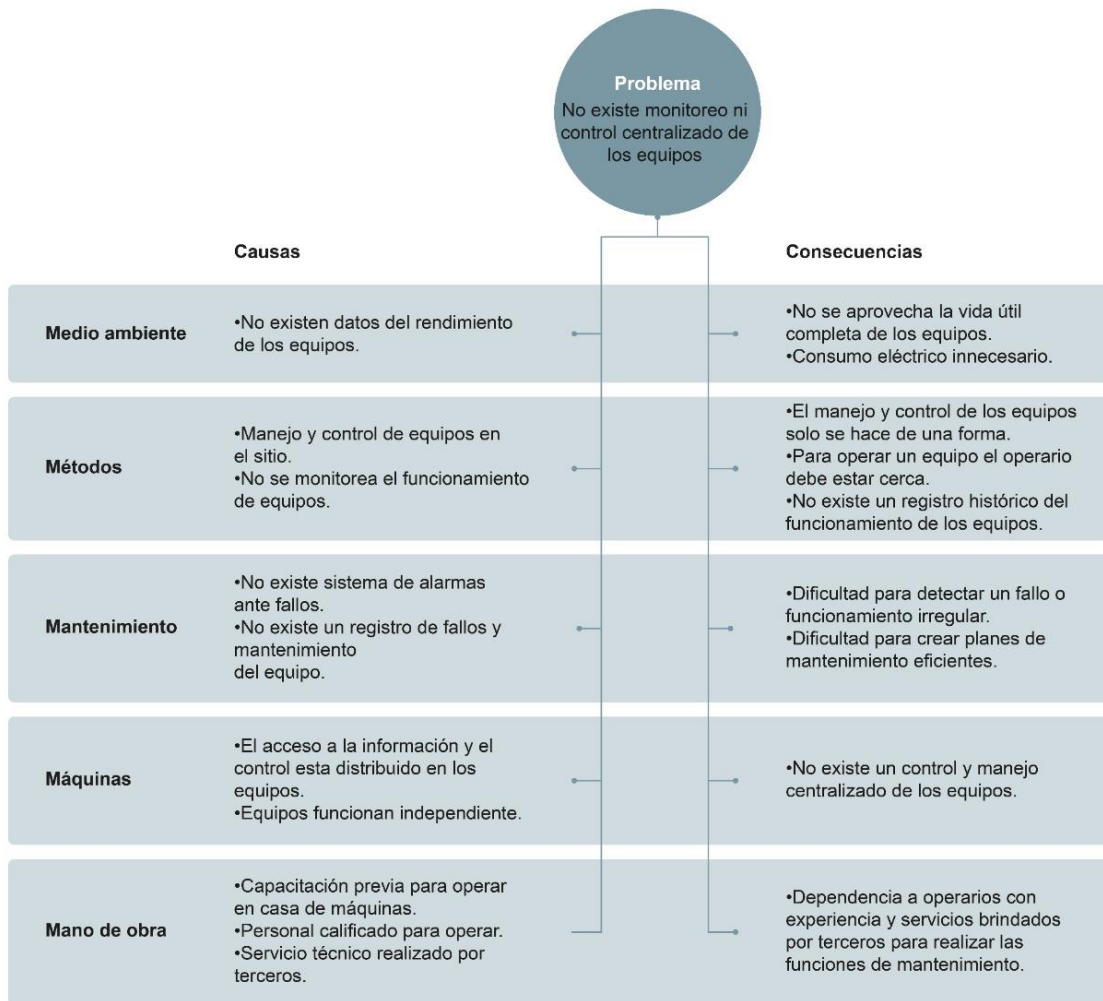


Figura 1. Diagrama Causa – Efecto.

Fuente: elaboración propia.

1.4. Definición del problema

1.4.1. Generalidades

El problema por resolver se presenta en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos donde se cuenta con dos grandes sistemas independientes, los cuáles son: un panel de bombeo y una caldera.

Dicho problema se centra en que el departamento de ingeniería de la CCSS y del Hospital de San Carlos necesitan realizar estudios sobre el estado de los equipos para poder llevar un control de cada uno ellos y poder establecer mejores

métodos de mantenimiento y planificación de los equipos pero no existe un registro con información relevante a cada uno, como, por ejemplo: horas de funcionamiento, cantidad y tipo de fallos, tendencia de las diferentes variables en funcionamiento, funcionamientos irregulares, entre otros.

Tampoco cuentan con un sistema que le permita al operario dar solución rápida y eficiente a los distintos fallos o que le faciliten el control de las distintas máquinas desde un solo lugar, es decir, un control centralizado. En la figura 1 se puede observar cómo cada equipo trabaja independientemente y sin ningún monitoreo. El operario para atender un fallo, tomar datos o revisar el estado de un equipo debe ir hasta cada uno de ellos y en ninguno de los casos puede acceder a la información que necesita directamente, debe interactuar con las pantallas de cada uno o revisar cada uno de los equipos.

Otro factor que afecta es que los fallos súbitos o nocturnos tienden a costar muchas horas de paro porque las empresas que se encargan de atender estos equipos no se encuentran disponibles de manera inmediata. Igualmente, los operarios no siempre son los mismos y es necesario que, ante cualquier situación de falla, funcionamiento irregular o mantenimiento, el operario en turno pueda conocer información relevante sobre las diferentes máquinas que le permita identificar partes o pasos a seguir ante determinada situación, para poder resolver un problema, sobre todo porque es indispensable que los procesos no se detengan en el hospital.

1.4.2. Justificación

Asegurar el suministro continuo de agua con el sistema de bombeo ayuda a reducir el riesgo de contraer distintas enfermedades y hace posible tener manos o instrumentos limpios, lavar ropa, sábanas o curar heridas para prevenir y reducir las infecciones. Igualmente, la caldera ayuda a la esterilización, en la central de alimentación, lavandería, agua caliente, calefacción, entre otros.

El sistema de bombeo se encarga de suministrar el agua de todo el hospital y la caldera es la encargada de proveer energía térmica a las unidades de apoyo que utilizan grandes cantidades de calor en sus procesos. Por lo tanto, se vuelve

indispensable crear herramientas que mejoren el funcionamiento de estos equipos debido a la importancia que tienen en distintas funciones dentro del hospital.

El registro, almacenamiento y monitoreo continuo de distintos parámetros de las máquinas ayuda a operarios, ingenieros, encargados de mantenimiento y equipos de la CCSS a observar la tendencia, el comportamiento y el estado de cada una en el tiempo. Este tipo de monitoreo también ayuda en el mantenimiento del equipo, ya que, permite conocer las condiciones de funcionamiento a las que ha estado expuesto durante cierto tiempo y ayuda a determinar cuando existe un funcionamiento irregular, sin necesidad de esperarse hasta que el equipo falle para hacer una intervención. Igualmente, ayuda a enfocar el mantenimiento correctivo en un punto observando la tendencia de comportamiento. [3]

El acceso a información sobre cada máquina y el control remoto desde un mismo punto en la casa de máquinas permite la especialización del trabajo del operario al ayudarlo en la recolección de datos y facilita el trabajo para operar cada uno de los equipos, ayudando de esta forma a actuar de manera más rápida y eficiente ante un fallo o alarma. Este sistema permite llevar un control especial y cuidadoso de las variables críticas para evitar fallos, paros prolongados de los equipos y mejores condiciones de uso y operación.

1.4.3. Síntesis del problema

El problema consiste en que el panel de bombeo y la caldera de la casa de máquinas del Hospital de San Carlos se encuentran trabajando de forma independiente lo que genera que el operario se tenga que trasladar a cada equipo para poder operarlo y no existe una monitorización constante; además, el acceso a la información está distribuido en los equipos y no centralizado. Igualmente, no existe un registro de la información del funcionamiento lo que dificulta el monitoreo para realizar planes de mantenimiento o planificación sobre remodelaciones o mejoras.

Además, se debe facilitar información relevante de cada equipo y ciertos procedimientos al operario en turno para que pueda actuar ante cualquier fallo, funcionamiento irregular o mantenimiento para así mantener funcionando siempre

los equipos sin importar la hora, el día o el operario y de esta forma no se afecten las diferentes actividades del hospital.

1.5. Objetivos

1.5.1.Objetivo General

- Desarrollar un sistema mecatrónico que mejore y facilite la operación, el mantenimiento y el control de un sistema de bombeo y de una caldera en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos.

1.5.2.Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico y clasificación de las variables y componentes que posee cada equipo.
- Diseñar un sistema que facilite la interacción de los operarios con las máquinas.
- Diseñar un sistema que recolecte y almacene datos sobre el funcionamiento de ambas máquinas.
- Validar el funcionamiento de los sistemas creados.

2. Marco Teórico

2.1 Proceso Diseño de Ingeniería

El diseño de ingeniería se vincula con la concepción de sistemas, equipos, componentes o procesos con el fin de satisfacer una necesidad, y concluye con la documentación que define la forma de dar solución a dicha necesidad. De esta manera el diseño ingenieril crea, modifica y combina ideas para satisfacer una necesidad, desarrollando dichas ideas en procesos o productos útiles [4].

Dado que los problemas de diseño generalmente se definen de manera más abierta y tienen una multitud de respuestas correctas, el proceso puede requerir retroceso e iteración. Resolver un problema de diseño es un proceso contingente y la solución está sujeta a complicaciones y cambios imprevistos a medida que se desarrolla [5].

Los cinco pasos básicos que se utilizan para la resolución de problemas de diseño se muestran en la figura 2 y se enumeran a continuación.

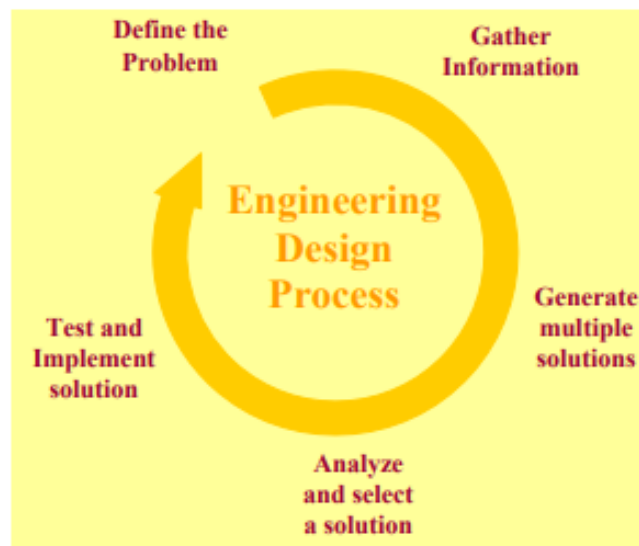


Figura 2. Pasos para el desarrollo de problemas de diseño de ingeniería.

Fuente: [5]

2.1.1 Define el Problema.

Esta definición del problema contiene una lista de los requerimientos del producto o proyecto a desarrollar, además, de información sobre las funciones y características que debe cumplir la solución. El problema debe estar definido de forma clara y precisa, evitando siempre que sea ambiguo. También, antes de definir el problema, se debe reconocer la necesidad que va a tener el producto, sistema o máquina que se va a desarrollar. Por último, se deben establecer criterios que permitan determinar que la solución de diseño fue exitosa, esto para orientar la solución. Puede que estos criterios cambien o sean modificados a medida que se desarrolle la solución de diseño. [5]

2.1.2 Obtener Información

Recopilar toda la información disponible relacionada con el problema. La búsqueda de información puede ayudar a redefinir el problema, al encontrar errores que otros diseñadores han tenido o descubrir que la forma en cómo se planteó el problema no es viable [5]. Igualmente, esta búsqueda permite orientar la solución al analizar la tasa de éxito y al conocer la forma en que otros diseñadores trabajaron con sistemas similares.

2.1.3 Generar Múltiples Soluciones

El proceso comienza con la creación de ideas que puedan resolver el problema y la recopilación de soluciones existentes. Se debe analizar cada una de ellas y determinar que está mal y si es posible mejorar las debilidades que presenta y como se podrían mejorar. Este análisis se debe combinar con la adición de nuevas ideas, herramientas y métodos para producir una mejor solución al problema [5].

2.1.4 Analizar y Seleccionar una Solución.

Una vez con las soluciones alternativas definidas, se debe analizar cada una y luego decidir cuál es la más adecuada para la implementación. El análisis es una evaluación de cada uno de los diseños propuestos, donde se deben aplicar los conocimientos adquiridos. También, se debe analizar cada solución alternativa

frente a los criterios de selección definidos en el primer paso. Se deben realizar varios tipos de análisis en cada diseño [5].

Después de analizar las soluciones alternativas, se debe decidir y documentar qué solución es la mejor. Para evaluar cada solución objetivamente contra los criterios o requisitos de diseño establecidos, se necesita una base cuantitativa para comparar y evaluar cada alternativa. Un método muy utilizado es la matriz de decisiones. Esta es una herramienta matemática que utiliza un número que especifica y justifica la mejor decisión [5].

2.1.5 Pruebas e Implementación de la Solución.

La fase final del proceso de diseño es la implementación, que se refiere a la prueba, construcción y fabricación de la solución al problema de diseño. Se deben considerar varios métodos de implementación, como la creación de prototipos y la ingeniería concurrente, así como las distintas actividades que ocurren durante la implementación, como documentar la solución de diseño y solicitar patentes [5].

2.2 Modelo OSI

El modelo OSI fue diseñado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) para proporcionar un esquema sobre el cual crear una suite de protocolos de sistemas abiertos. Este modelo proporciona una amplia lista de funciones y servicios que se pueden presentar en cada capa. También describe la interacción de cada capa con las capas directamente por encima y por debajo de él [6].

A continuación, en la tabla 1 se describe brevemente en que consiste cada una de las capas del modelo OSI.

Tabla 1. Capas del modelo OSI.

Fuente: [7]

Nombre	Descripción
1. Capa Física	<ul style="list-style-type: none">• Establece como se transmite la información al medio.• Recibe mensajes y transmite bits.

	<ul style="list-style-type: none"> Define características del enlace y la interfase: mecánicas (conectores, pines, formas), eléctricas (duración del bit, niveles de voltaje) y funcionales (asignación de señales a los pines).
2. Capa de Enlace	<ul style="list-style-type: none"> Establece una comunicación confiable entre equipos. La unidad de información son las tramas (frames). Los protocolos realizan control de errores, de secuencia y de flujo.
3. Capa de Red	<ul style="list-style-type: none"> Conecta equipos que están en redes diferentes. Hace que los datos atreviesen distintas redes interconectadas (ruteo de paquetes) desde un origen hasta un destino.
4. Capa de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> Comunica sistemas finales (extremo extremo), asegurando que los datos lleguen en el mismo orden en que han sido enviados, y sin errores, Aísla a la capa superior de los cambios del hardware y del sistema operativo.
5. Capa de Sesión	<ul style="list-style-type: none"> Proporciona mecanismos para controlar la comunicación entre aplicaciones en sistemas finales. Posibilita la recuperación del diálogo en base a puntos de sincronización.
6. Capa de presentación	<ul style="list-style-type: none"> Define el formato de los datos que se van a intercambiar entre aplicaciones. Ofrece a los programas de aplicación un conjunto de servicios de transformación de datos. Compresión y encriptado de datos.
7. Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación entre procesos o aplicaciones en computadoras distintas. Interfaz con el usuario. Diferentes protocolos que brindan diferentes servicios.

En la figura 3 se muestran varios ejemplos del modelo OSI en cada una de sus capas.

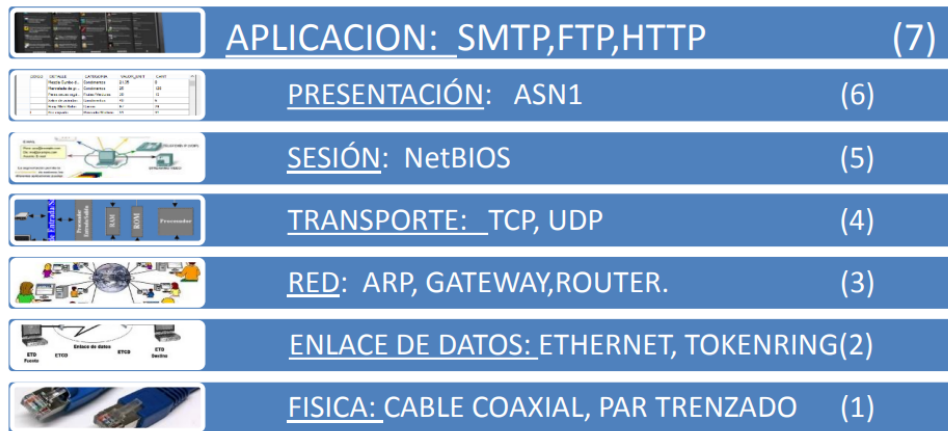


Figura 3. Ejemplo de modelo OSI.

Fuente: [6].

2.3 Protocolo de Comunicación Modbus

2.3.1 Descripción general

Modbus es un protocolo de solicitud-respuesta implementado usando una relación maestro-esclavo. En una relación maestro-esclavo la comunicación se produce en pares, un dispositivo debe iniciar una solicitud y luego esperar una respuesta y el dispositivo de inicio (el *maestro*) es responsable de iniciar cada interacción. El contenido de estas solicitudes y respuestas, y las capas de la red a través de las cuales se envían estos mensajes, son definidas por las diferentes capas del protocolo [8].

2.3.2 Capa física

Modbus especifica el procedimiento que el controlador y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato de estos datos, y como se tratan los errores. No especifica estrictamente en el tipo de red de comunicaciones a utilizar, por lo que se puede implementar sobre redes basadas en Ethernet, RS-485, RS-232, etc. [9]. A continuación, se detallan únicamente las redes RS-485 y Ethernet, ya que, son las que se utilizan en el desarrollo del proyecto.

2.3.2.1 RS-485

El estándar RS-485 define un bus para la transmisión serie multipunto. La comunicación es semidúplex, de forma que un equipo puede enviar y recibir, pero no a la vez. El cableado básico consiste en un par de hilos de cobre trenzados sobre el que se transmite una señal diferencial para enviar los bits de datos, que es bastante inmune a las interferencias y admite largas distancias [10].

2.3.2.2 Ethernet

Ethernet es la tecnología que sirve para conectar dispositivos en una red de área local cableada (LAN) o una red de área amplia (WAN), lo que les permite comunicarse entre sí a través de un protocolo: un conjunto de reglas o un lenguaje de red común. Ethernet describe cómo los dispositivos de red pueden formatear y transmitir datos para que otros dispositivos en el mismo segmento de red de área local o del campus puedan reconocer, recibir y procesar la información. Un cable Ethernet es el cableado físico encerrado por el que viajan los datos [11].

2.3.3 Modelo de datos

Los datos disponibles por medio de Modbus son almacenados, en general, en uno de los cuatro bancos de datos o rangos de dirección: bobinas, entradas discretas, registros de retención y registros de entrada. Estos bancos de datos definen el tipo y los derechos de acceso de los datos contenidos. Los dispositivos esclavos tienen acceso directo a estos datos, los cuales son alojados localmente en los dispositivos. Los datos disponibles por medio de Modbus generalmente son un subconjunto de la memoria principal del dispositivo. En contraste, los maestros Modbus deben solicitar el acceso a estos datos a través de diversos códigos de función [8]. El comportamiento de cada bloque se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Bloques del modelo de datos de Modbus.

Fuente: [8]

Bloque de Memoria	Tipo de datos	Acceso de Maestro	Acceso de Esclavo	Código
Bobinas	Booleano	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura	0

Entradas discretas	Booleano	Solo lectura	Lectura/Escritura	1
Registros de retención	Palabra sin signo	Lectura/Escritura	Lectura/Escritura	3
Registros de entrada	Palabra sin signo	Solo Lectura	Lectura/Escritura	4

2.3.4 Modo de transmisión

Para transmitir los datos necesarios para Modbus a través de las diferentes capas, Modbus incluye un conjunto de variantes ADU que son diseñadas para cada protocolo de red. Los tres formatos ADU estándares son TCP, unidad terminal remota (RTU) y ASCII. La RTU y ASCII son ADUs normalmente usadas a través de una línea serial, mientras que el TCP es usado a través de redes TCP/IP o UDP/IP modernas [8].

A continuación, se detalla únicamente las variantes de RTU y TCP/IP, ya que, son las dos variantes utilizadas en el desarrollo del proyecto.

2.3.4.1 Modbus RTU

Modbus RTU utiliza el sistema de maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. Permite hasta 247 esclavos, más solamente un maestro. Toda la comunicación inicia con el maestro haciendo una solicitud a un esclavo, y esta contesta al maestro lo que le solicitó. En ambos, pregunta y respuesta, la estructura utilizada es la misma: dirección, código de la función, datos y comprobación de errores. Solo el contenido de los datos posee contenido variable. La figura 4 muestra esta estructura de datos [6].

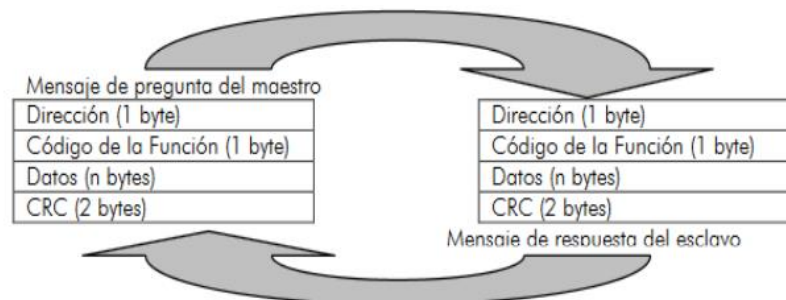


Figura 4. Diagrama de bloques de maestro y esclavo en la transmisión por RTU.

Fuente: [6].

Para que la comunicación entre el maestro y los esclavos sea exitosa, es necesario configurar el formato de transmisión de datos de cada uno de los dispositivos en la red considerando lo siguiente:

- Si existe bit de inicio.
- Cantidad de bits de datos.
- Cantidad de bits de parada.
- Paridad: par, impar, ninguna.
- Velocidad de transmisión de los datos.

2.3.4.2 Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP es simplemente el protocolo Modbus RTU con una interfaz TCP que se ejecuta en Ethernet. La función principal de TCP es garantizar que todos los paquetes de datos se reciban correctamente, mientras que IP se asegura de que los mensajes se dirijan y enruten de manera correcta. La combinación TCP/IP es un protocolo de transporte y no define que significan los datos o como se interpretarán (este es el trabajo del protocolo de aplicación, Modbus en este caso) [12]

En resumen, Modbus TCP/IP usa TCP/IP y Ethernet para transportar los datos de la estructura del mensaje Modbus entre dispositivos compatibles. Es decir, se combina una red física (Ethernet) con un estándar de red (TCP/IP) y un método estándar de representación de datos (Modbus como protocolo de aplicación) [12].

En la práctica, Modbus TCP incrusta una trama de datos Modbus estándar en una trama TCP, sin la suma de comprobación de Modbus, como se muestra en la figura 5.

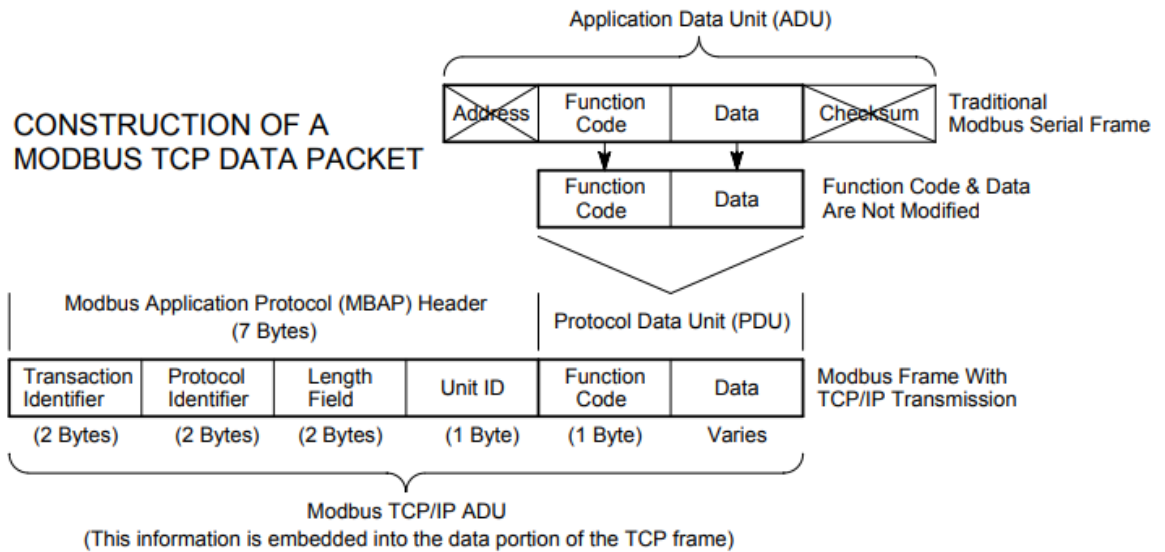


Figura 5. Estructura de datos en la transmisión por Modbus TCP/IP.

Fuente: [12].

El campo de comprobación de errores de Modbus (suma de comprobación) no se utiliza, ya que los métodos de suma de comprobación de la capa de enlace Ethernet TCP/IP estándar se utilizan para garantizar la integridad de los datos [12].

2.4 Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

El sistema SCADA es una aplicación de software que se ha creado para que funcione de forma directa con ordenadores y dispositivos cuyo objetivo es controlar la producción de una empresa. Y todos ellos teniendo una única conexión a planta. Esto se consigue haciendo uso de sensores y más elementos que combinándolos ayudan a que se tenga un control completo sobre la producción o los procesos [13].

Supervisa los procesos de producción y adquiere datos para saber el estado en que se encuentra la producción en cada momento. Los responsables de las empresas pueden controlar y tomar decisiones adecuadas, rápida y fácilmente y todo ello de forma remota y en tiempo real, sobre los equipos que se encuentran conectados. También, es importante destacar que este sistema permite crear advertencias para paliar posibles errores ocasionales [13].

Las señales básicas de un sistema SCADA son las entradas y salidas digitales y analógicas. Las entradas son generadas, principalmente, por sensores (de temperatura y presión, por ejemplo) o botones de operación. Las salidas controlan el encendido de luces o motores. El operador accede a los sistemas SCADA a través de un OIT (Terminal de Interfaz de Operador) o de una HMI (Interfaz Hombre Máquina) [14].

El elemento encargado de recolectar los datos en un sistema SCADA es el PLC (Controlador Lógico Programable). Este dispositivo convierte la información a un formato que una computadora puede entender y, además, maneja la información a alta velocidad. Un PLC tiene integrados protocolos de comunicación como, por ejemplo, la comunicación Modbus RTU y RCP/IP, lo que les permite comunicarse con las computadoras e intercambiar datos e información con estas [14].

En la figura 6 se muestra un diagrama típico de los principales elementos que conforman un sistema SCADA.

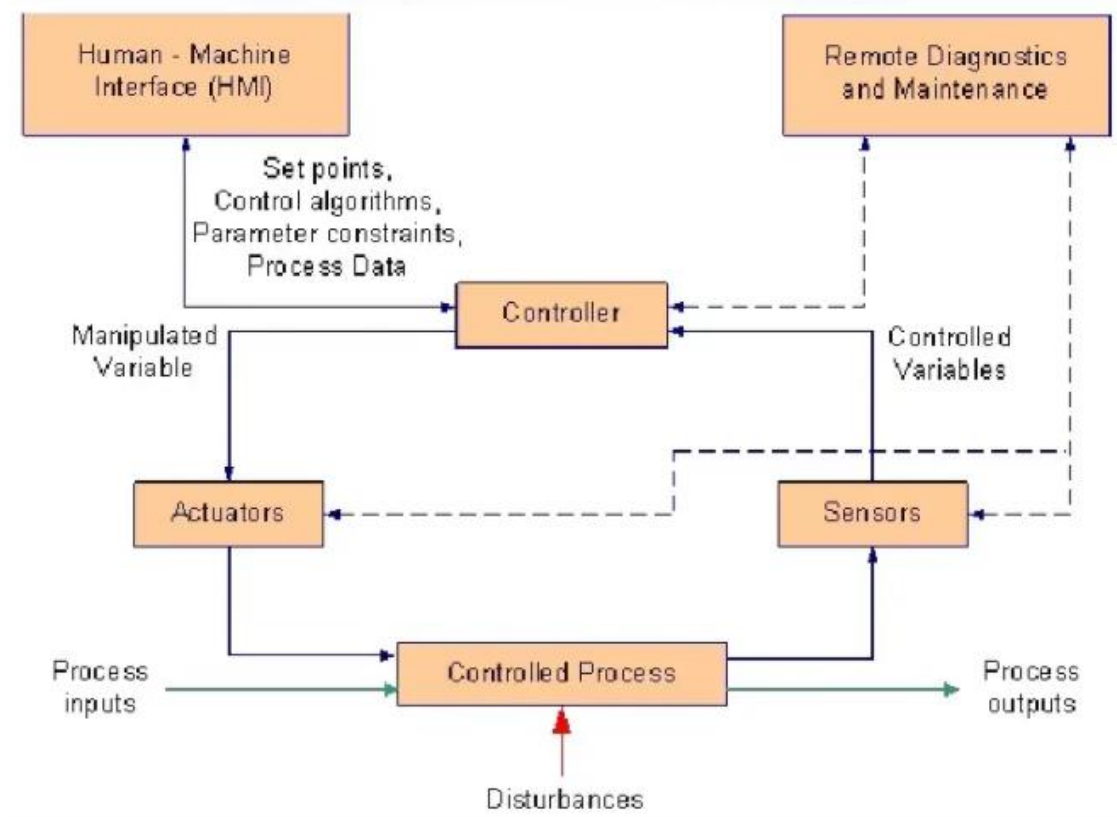


Figura 6. Esquema típico de conformación de un sistema SCADA.

Fuente: [15].

2.5 IoT (Internet de las Cosas)

La arquitectura de la información basada en internet permite el intercambio de bienes y servicios entre todos los elementos, equipos y objetos conectados a la red. La IoT se refiere a la interconexión en red de todos los objetos cotidianos, que a menudo están equipados con algún tipo de inteligencia. En este contexto, internet puede ser también una plataforma para dispositivos que se comunican electrónicamente y comparten información y datos específicos con el mundo que les rodea. El IoT puede verse como una evolución de lo que se conoce como internet, ya que, añade una interconectividad más extensa, una mejor percepción de la información y servicios inteligentes más completos [16].

2.5.1 Comunicación ‘dispositivo a la nube’

El modelo de dispositivo a la nube es un modelo típico utilizado en IoT, en este modelo el dispositivo de la IoT se conecta directamente a un servicio en la nube, como por ejemplo un proveedor de servicios de aplicaciones para intercambiar datos y controlar el tráfico de mensajes. Este enfoque suele aprovechar los mecanismos de comunicación existentes (por ejemplo, las conexiones Wi-Fi o Ethernet cableadas tradicionales) para establecer una conexión entre el dispositivo y la red IP, que luego se conecta con el servicio en la nube. Esta conexión a la nube permite que el usuario acceda a sus datos en forma remota, a través de un teléfono inteligente o una interfaz web [17]. Esto se ilustra en la figura 7.

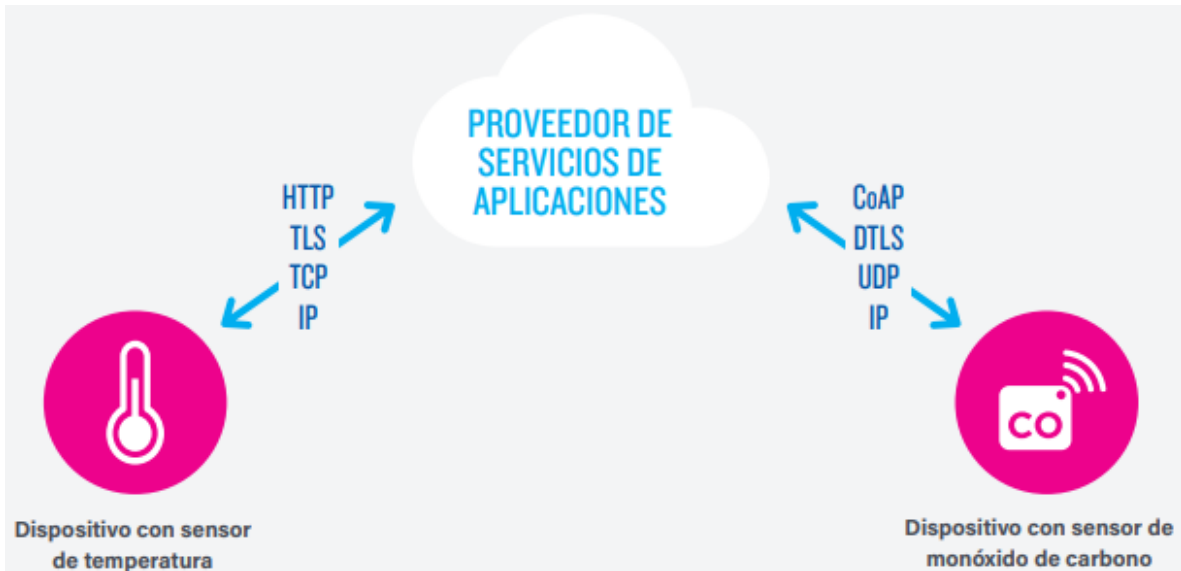


Figura 7. Diagrama del modelo de comunicación dispositivo a la nube.

Fuente: [17].

2.5.2 Arquitectura

En la figura 8 se muestra una de las arquitecturas más utilizadas por la IoT.



Figura 8. Arquitectura para Internet de las Cosas.

Fuente: [18].

Como se puede observar, en el nivel inferior están los dispositivos, que son aquellos que se encuentran en contacto con el mundo físico y permiten, por tanto, obtener datos y ejecutar acciones sobre el mismo. [18].

La segunda capa de la arquitectura es la de Gateways, cuya función principal es posibilitar la conexión a la capa de Red, de dispositivos que individualmente no lo pueden hacer, debido a que, por ejemplo, utilizan un protocolo de comunicación que no es compatible con dicha capa. A continuación, se encuentra la Capa de Red, encargada de transportar el tráfico de dispositivos y Gateways hacia o desde la nube o centro de datos. Le sigue la Capa de Nube / Centro de Datos, en la cual se procesan los datos que llegan desde los dispositivos, al igual que los comandos que se envían hacia estos, los cuales pueden generarse en la propia Capa de Nube / Centro de Datos o en las demás capas de la arquitectura [18].

En la cima esta la Capa de Aplicaciones, a través de la cual los usuarios interactúan con el ecosistema IoT y sacan provecho de los procesamientos que se realizan, en su mayoría, en la capa inferior. Por último, se encuentran las Capas de Gestión y Seguridad, estas dos capas garantizan un correcto funcionamiento de cualquier solución IoT, así como la protección de sus diferentes recursos, para lo cual, están presentes en las demás capas de la arquitectura, por lo que en cualquiera de estas pueden encontrarse sus funciones [18].

2.6 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada consiste básicamente en combinar la realidad física con los datos (gráficos e imágenes) creados por un ordenador. Un sistema de este tipo genera una visión compuesta para el usuario, siendo una combinación de la escena real vista por el usuario y de una escena virtual generada por el computador, que aumenta (con el sentido de enriquecer) la escena con la información adicional. Igualmente, sincronizan (en tiempo real) la representación virtual con los movimientos del usuario y/o de la cámara de video, mostrándoselos a través de lentes especiales, proyecciones o por medio de un monitor [19].

2.6.1 Niveles de Realidad Aumentada

- **Nivel 0:** hiperenlaces en el mundo físico. Los activadores en este nivel son códigos QR (figura 9) que enlazan con sitios web [20].



Figura 9. Código QR.

Fuente: [20].

- **Nivel 1:** realidad aumentada basada en marcadores de referencia. Los activadores son marcadores (figura 10), figuras que cuando son escaneadas normalmente devienen en un modelo 3D que se superponen en la imagen real.



Figura 10. Marcador de Realidad Aumentada.

Fuente: [20].

- **Nivel 2:** realidad aumentada sin marcadores. Los activadores son imágenes, objetos o bien localizadores GPS. Cuando el usuario mueve el teléfono inteligente captando la imagen de su entorno, el navegador, a partir de un mapa de datos, muestra los puntos de interés (POIs) cercanos. En la figura 11 se muestra un ejemplo.



Figura 11. Realidad Aumentada con geolocalización.

Fuente: [20].

- **Nivel 3:** Visión aumentada. La realidad aumentada incorporada en gafas (Google Glass, figura 12) tiene como propósito mostrar información disponible para los usuarios sin utilizar las manos.



Figura 12. Realidad aumentada con Google Glass.

Fuente: [20].

2.7 Industria 4.0

La Industria 4.0 se basa en estrategias de alta tecnología; caracteriza por la automatización, la digitalización de los procesos y el uso de las tecnologías de la electrónica de los procesos y de la información en la manufactura. Y por las capacidades de interacción y el intercambio de información entre humanos y máquinas [21].

La Industria 4.0 ha sido definida como una maquinaria física y dispositivos con sensores y software que trabajan en red y permiten predecir, controlar y planear mejor los negocios y los resultados organizacionales. Sus bondades permiten anticipar grandes cambios, ya que se le asocia con la digitalización de los sistemas de información y producción para las actividades de gestión; los sistemas de automatización para la adquisición de datos de máquinas y líneas de producción;

con el intercambio de información para el monitoreo y control de los procesos y la toma de decisiones en tiempo real [21].

Las nueve tecnologías sobre las cuales se fundamenta la industria 4.0 ya se están utilizando actualmente en las empresas manufactureras, pero de forma aislada. Con esta nueva revolución, las cadenas de valor se transformarán en un flujo completamente integrado, automatizado y optimizado que mejorará la eficiencia y cambiará la relación tradicional entre proveedores, productores y clientes, así como entre personas y máquinas [22]. En la figura 13 se muestran dichas tecnologías.

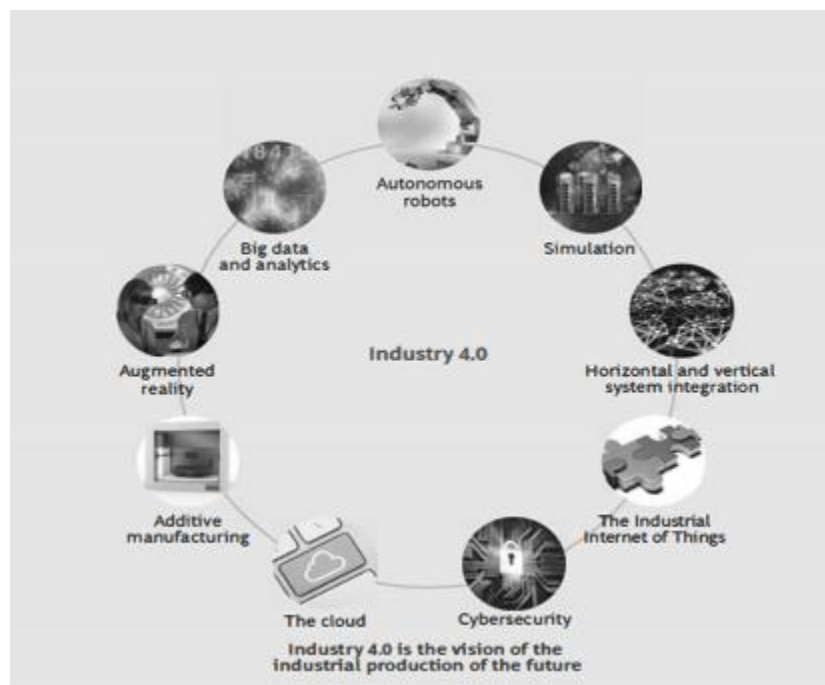


Figura 13. Las nueve tecnologías que están transformando la producción industrial.

Fuente: [22].

2.8 Calderas

La caldera es un recipiente metálico destinado para producir vapor mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. Son utilizadas para generar agua caliente para calefacción y uso general y para generar vapor para plantas de fuerza, procesos industriales o calefacción [23]. En la figura 14 se muestran las principales partes de una caldera.

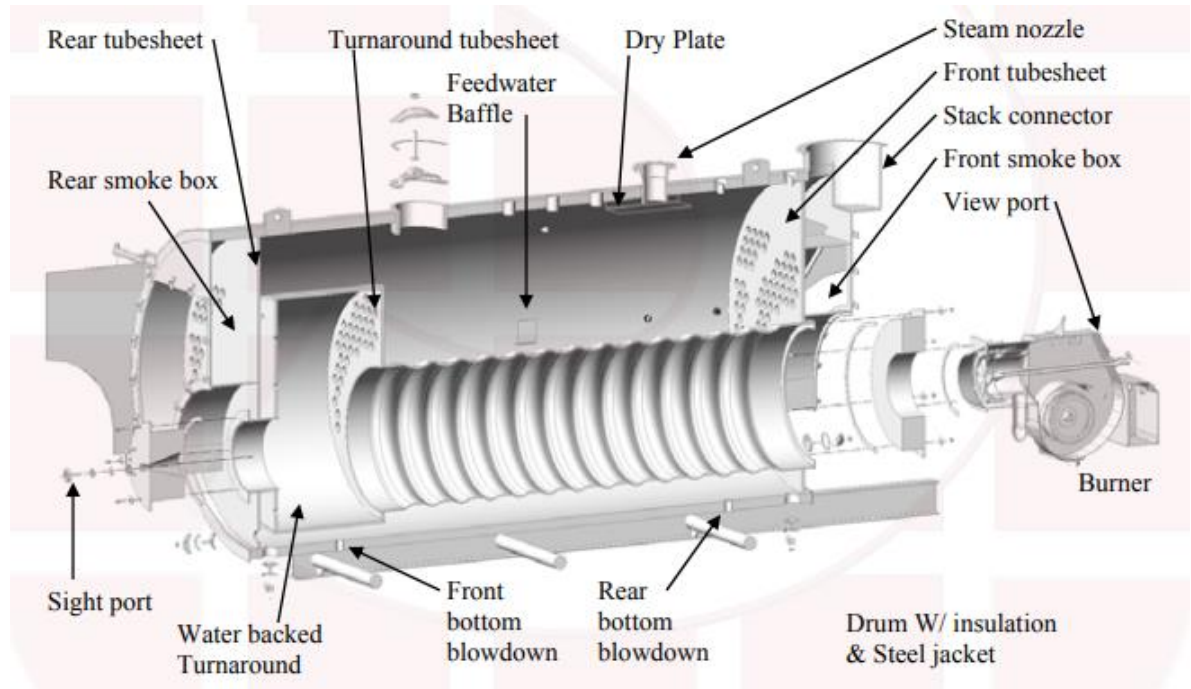


Figura 14. Especificación de partes de la caldera.

Fuente: [24].

Una de las partes más importantes de la caldera es la cámara de combustión, la cual es el lugar donde se quema el combustible. Dentro de esta cámara se produce una llama por la acción de un quemador. Los quemadores impulsan dentro de la caldera una mezcla de aire y combustibles líquidos y gaseosos y por medio de una llama piloto se consume la mezcla generando la llama dentro de la cámara. También, la función del quemador es regular la llama de acuerdo con las necesidades de la caldera, por medio de un control electrónico de válvulas y bombas de impulsión. Estos quemadores poseen mecanismos de seguridad que cortan el funcionamiento cuando se producen problemas con la combustión [25].

Otra zona importante dentro de la caldera es la zona de tubos, lugar donde los productos de la combustión (gases o humos) transfieren calor al agua principalmente por convección (gases-agua). Está constituida por tubos dentro de los cuales pueden circular los humos o el agua. [23]

En el manejo y control de calderas los componentes y parámetros más importantes son los siguientes:

- Estado de operación del quemador y la llama.
- Estado de operación de la caldera.
- Estado del equipo electrónico que controla la llama.
- Temperatura interna.
- Valor de presión de vapor.

Se tienen dos tipos generales de calderas: las pirotubulares y las acuotubulares. A continuación, se detallan más a fondo cada una de ellas.

2.8.1 Pirotubulares o Tubos de Humo.

Estas calderas son atravesadas por grupos de tubos, por cuyo interior circulan los gases de combustión, que ceden el calor al agua que baña el exterior de estos. Los humos calientes procedentes de la cámara de combustión pasan por los tubos pasadores y salen por la chimenea. El aire de los tubos cambia de sentido varias veces, dependiendo de cuantos pasos sea la caldera. A través de este recorrido ceden gran parte de su calor al agua que los envuelve, vaporizándose una parte, que se acumula en la parte superior del cuerpo de presión en forma de vapor saturado. Esta vaporización del agua es la que provoca el aumento de la presión del interior del recipiente y que se visualiza en el manómetro de la caldera [26]. En la figura 15 se muestra como es una caldera pirotubular de cuatro pasos.

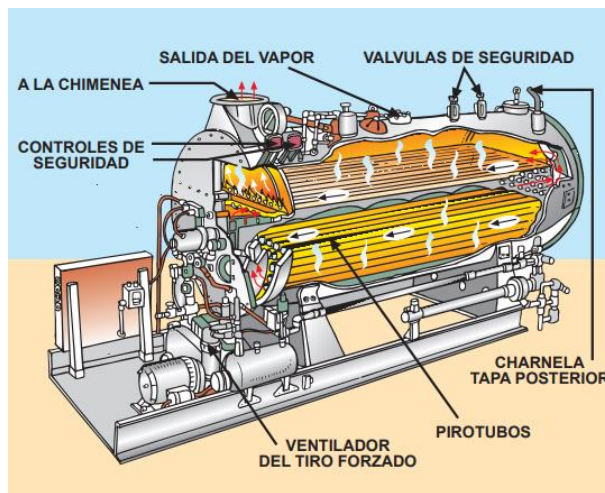


Figura 15. Caldera pirotubular de cuatro pasos.

Fuente: [23]

2.8.2 Acuotubulares o Tubos de Agua.

En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se hallan en contacto con las caras exteriores de ellos [23]. La figura 16 representa una caldera de este tipo, esta tiene únicamente un tubo de agua.

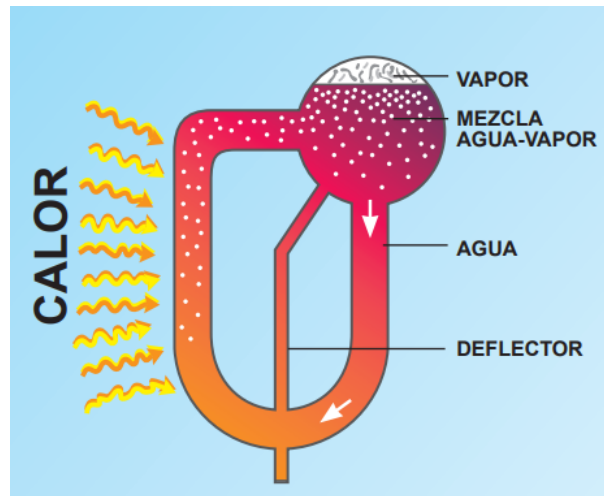


Figura 16. Modelo de caldera acuotubular de un solo tubo.

Fuente: [23]

2.9 Mantenimiento de Equipos.

El mantenimiento puede clasificarse de diferentes maneras en función a su frecuencia, alcance y enfoque. Tradicionalmente el mantenimiento se clasifica en cuatro grupos: correctivo, preventivo, predictivo y detectivo [27]. Estos grupos han ido surgiendo y evolucionando a través del tiempo, debido a las necesidades que se han ido presentado en las diferentes industrias, e incluso, en la actualidad, a partir de su desarrollo han ido creando otros métodos de mantenimiento que son una combinación de algunos de estos grupos.

2.9.1.1 Mantenimiento Correctivo

Se enfoca solo en la reparación de fallas, es decir, se realiza cuando ya ha sucedido la falla. Es un modo de mantenimiento temprano. En ocasiones es necesario el reemplazo del equipo. Se realiza sin ningún plan de actividades y por

lo general se produce de forma espontánea, produciendo paros en la producción [28].

2.9.1.2 Mantenimiento Preventivo

Se realiza antes que falle el equipo o en la fase inicial del fallo de una pieza. Se realizan revisiones en intervalos de tiempo predeterminados para verificar el estado de los equipos, a fin de evitar daños o destrucción por pérdida secundarias. Se define en el plan de mantenimiento [28].

2.9.1.3 Mantenimiento Predictivo

Se refiere al monitoreo regular y continuo del equipo, que se basa en los resultados para identificar si el estado es una tendencia anormal o defectuosa para posteriormente, tomar decisiones sobre el mantenimiento que se debe aplicar. En general, se basa en el monitoreo de la condición y en la solución de los problemas [28].

2.9.1.4 Mantenimiento Detectivo

Este grupo busca detectar fallas ocultas o trastornos que pueden causar una falla. Para poder cumplir con los objetivos requiere de tecnologías y mano de obra calificada. Presenta el inconveniente que en ocasiones requiere pruebas adicionales [27].

3 Marco Metodológico

En este capítulo se explica la metodología seguida en el desarrollo del proyecto, además, se explica cómo se delimitó el problema y cuáles fueron los pasos seguidos para poder seleccionar las soluciones. La metodología utilizada como base fue la que se explicó en la sección 3.1, en la figura 17 se resumen los pasos seguidos, desde la definición del problema hasta la solución de este con las pruebas de validación.

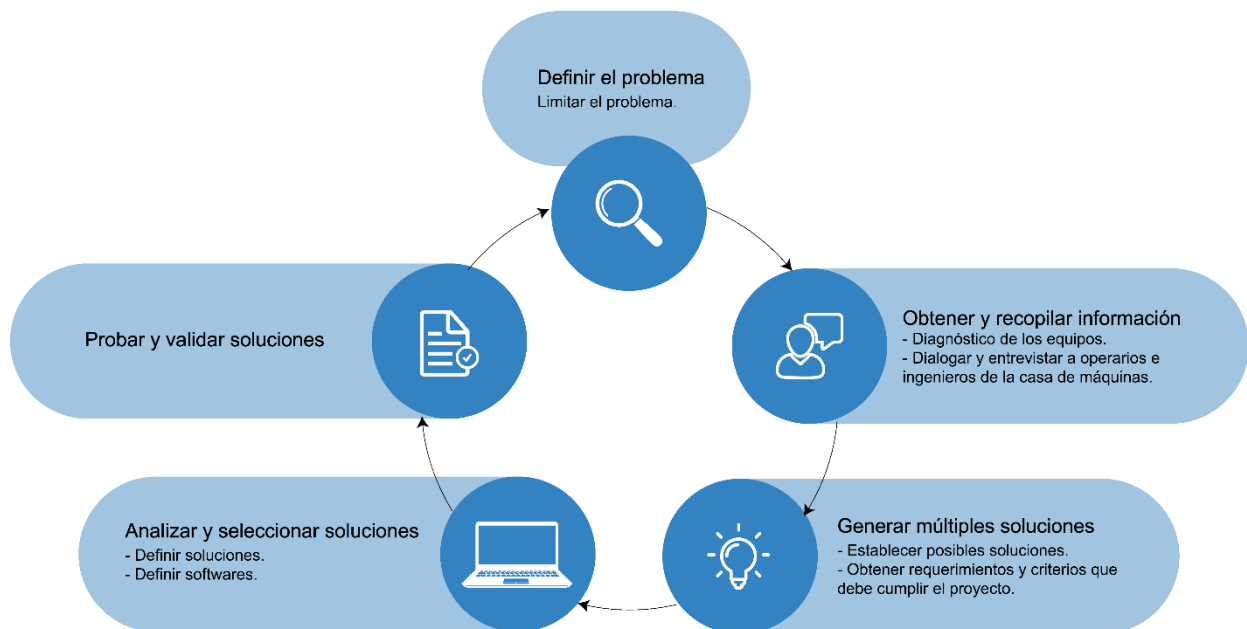


Figura 17. Metodología empleada en el proyecto.

Fuente: elaboración propia.

3.1 Limitar el problema

Haciendo un análisis del problema y los objetivos se decidió establecer tres enfoques generales que deben ser solucionados, los cuales se muestran a continuación:

1. Unificar el control en un punto.
2. Recolectar y almacenar datos para llevar un historial del funcionamiento de los equipos.
3. Facilitar conocimiento e información del sistema de bombeo a los operarios.

3.2 Diagnóstico de los equipos y el entorno

El primer paso se basa en conseguir información de los equipos y el entorno, esto puede provenir de los operarios, manuales, programas de los equipos u observaciones directas del equipo en marcha.

Dicha información permite, conocer mejor las funciones que realizan cada uno de los equipos, las herramientas con las que se cuenta actualmente, los diferentes procedimientos que utilizan los operarios para controlar las máquinas y dar mantenimiento a estas. Además, permite conocer mejor el entorno donde se va a implementar el proyecto tanto en el hospital como en la empresa. Conocer mejor las funciones que desarrolla la empresa y las herramientas con las que cuenta, es una ayuda en la búsqueda de soluciones.

Por otra parte, se debe caracterizar cada máquina con el fin de conocer los diferentes equipos que la componen. Se debe prestar especial atención a los equipos que son capaces de brindar información sobre el funcionamiento de las máquinas, por ejemplo, sensores, controladores lógicos, equipos de control y medición, entre otros.

3.3 Definir soluciones a implementar

Lo primero por realizar es definir los requerimientos y criterios que se deben cumplir en el proyecto. Dichos requerimientos son definidos por el ingeniero a cargo de la casa de máquinas y sirven para que la búsqueda de soluciones sea enfocada hacia soluciones más puntuales y de esta manera contar con diferentes parámetros que sirvan para evaluar la solución final. En este caso se decidió dividir la búsqueda de soluciones según la división del problema que se realizó en la sección 3.1.

Un factor importante es que las máquinas carecen de historiales de funcionamiento y mantenimiento por lo que la investigación bibliográfica tiene un gran peso en el proceso para establecer soluciones. Otro factor para considerar es que las máquinas se encuentran instaladas y funcionando por lo que no se pueden realizar mayores modificaciones y las oportunidades para interactuar y hacer pruebas con el equipo son reducidas.

3.3.1 Solución para unificación de control en un punto.

Como parte de la división del problema se estableció que era necesario unificar el control de la caldera y del panel de bombeo en un punto. En la descripción del problema se menciona la necesidad de poder mejorar el control y monitoreo de los equipos, así como la atención de fallos, por lo tanto, se establecieron criterios de diseño que debía cumplir la solución en este punto los cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Requerimientos para el sistema de unificación de control en un punto.

Fuente: elaboración propia.

Número	Requerimientos
1	Permitir al operario monitorear y controlar los sistemas desde un mismo punto y que el control sea independiente para cada equipo.
2	Mostrar el estado de operación de los equipos, es decir, apagado, encendido, automático, manual.
3	Mostrar los valores de funcionamiento de cada equipo: horas de funcionamiento, estado de los sensores digitales, valores de los sensores analógicos, condiciones de arranque, condiciones de paro, entre otros.
4	Emitir alarmas si alguna de las señales está cerca de los límites requeridos o se encuentra por fuera de estos.
5	Pantalla de fallos, donde se pueda observar la existencia de fallos en tiempo real, equipo que fallo y si es posible que tipo de fallo fue para que el operario pueda identificarlo.
6	Almacenar los fallos del último año para visualizarlos cuando se desee.
7	Se debe visualizar la hora del fallo, del reconocimiento del fallo y de la normalización del fallo.
8	Los datos se deben actualizar en tiempo real, con un retraso de máximo 5 segundos.

Los requerimientos que se establecen en la tabla 3 se adaptan de gran forma a las funciones que se pueden desarrollar con un SCADA. Un sistema de este tipo

permite centralizar la información de los equipos y de esta manera poder monitorizarlos y controlarlos en tiempo real y desde un mismo punto. Igualmente, se mejora la atención de fallos al contar con una herramienta de monitorización continua y con un control más eficiente de los equipos.

En la tabla 4 se demuestra como con algunas de las principales características de un SCADA, mencionadas en la sección 2.4, es posible cumplir cada uno de los requerimientos establecidos en la tabla 3.

Tabla 4. Comparación de las características de un SCADA con los requerimientos de la unificación del control en un punto.

Fuente: elaboración propia.

Características SCADA	Número de requerimiento
Controla la producción desde un ordenador o dispositivo de mando.	1
Supervisa los procesos y adquiere datos.	2,3,6 y 7
Crea advertencias para minimizar los fallos en la planta.	4,5
Muestra datos y ejecuta acciones en tiempo real.	8

Para la selección del software a utilizar se tiene la ventaja que Electro Beyco es desarrolladora de proyectos de la empresa *AVEVA Group*, por lo tanto, tiene acceso a muchos de sus principales softwares para el desarrollo de sistemas SCADA, en este caso se decidió utilizar el software *In Touch Edge* por el tipo de aplicación que se desarrolla, el cual es un sistema SCADA local que controla una pequeña cantidad de máquinas.

3.3.2 Solución para recolección y almacenamiento de datos que permita llevar un historial del funcionamiento de los equipos.

Es necesario crear un sistema que pueda recolectar la información de los equipos y la almacene para poder llevar un control más preciso del funcionamiento

de cada uno. Se requiere cumplir ciertos requerimientos con la creación de esta herramienta, estos se describen en la tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos para la recolección y almacenamiento de datos.

Fuente: elaboración propia.

Número	Requerimientos
1	Almacenar la información del funcionamiento de los equipos de mínimo un año de funcionamiento.
2	Observar los datos en tiempo real, con una velocidad de sincronización de máximo 30 segundos.
3	Poder observar los datos de manera remota, fuera del hospital, desde una computadora, celular o <i>Tablet</i> .
4	Observar los datos guardados de manera gráfica.

A partir de estos requerimientos es posible proponer dos soluciones, las cuáles son: almacenamiento directo en la nube utilizando IoT y almacenamiento por servidor local. Ambos sistemas tienen la ventaja que pueden utilizar los datos ya recolectados por el SCADA y la función que debe cumplir es la de almacenamiento y visualización.

Para el caso de guardar los datos en la nube es posible utilizar una aplicación que pueda obtener los datos ya recolectados de los diferentes equipos y subirlos. Para poder almacenarlos es necesario adquirir una licencia que permita obtener una cantidad de memoria en la nube o que permita guardar una cantidad de datos específica por un determinado tiempo. Una vez que se ha logrado subir los datos, la aplicación permite manejarlos de diferentes maneras para posteriormente visualizarlos desde diferentes dispositivos y desde cualquier parte, únicamente, es necesario tener una conexión a internet.

Por otra parte, el servidor local consiste en utilizar una memoria conectada físicamente al equipo en donde va a estar corriendo el sistema SCADA o utilizar la misma memoria interna de este equipo siempre y cuando tenga la capacidad de almacenar los datos de un año de funcionamiento. El mismo programa del SCADA es el encargado de almacenar y graficar la información. El equipo donde se

encuentra almacenada la información debe tener instalado un software que permita conectarse de manera remota con un computador para poder observar los datos.

Como ambas soluciones cumplen todos los requerimientos de la tabla 5, es necesario hacer una comparación para establecer cuál es la mejor opción. En este caso se podrían considerar factores como el tiempo de desarrollo, el costo de cada aplicación o la facilidad en el manejo de los datos, pero se determinó que el factor más importante y el que se considera indispensable para el cliente es que los datos sean almacenados de manera segura y que sin importar las circunstancias la información no se pierda, porque afectaría los planes de mantenimiento futuros y el monitoreo de los equipos no se podría realizar de manera correcta, ya que, no se tendrían referencias de los históricos de funcionamiento. Por lo tanto, únicamente se va a comparar considerando este punto.

En este caso se considera que la mejor opción es la de almacenar los datos en la nube porque es un medio más seguro, una vez que un dato se haya subido con éxito este no se va a perder. En cambio, el almacenamiento local tiene la desventaja que es un sistema físico y carece de respaldo, además, está ligado a un hardware que es susceptible a fallas, por lo tanto, podrían perderse todos los datos que se hayan recolectado hasta el momento.

La aplicación seleccionada para cumplir esta función es *AVEVA Insight*. Se eligió este software, porque es el software con el que cuenta la empresa para este tipo de soluciones y porque puede enlazarse directamente con el software que se seleccionó en la solución de unificar el control en un punto (*In touch Edge*), lo que permite aprovechar que los datos ya se han recolectado y únicamente se deben almacenar, de esta forma se simplifica el proceso y además se reducen los tiempos de desarrollo del proyecto.

3.3.3 Solución para facilitar conocimiento e información del sistema de bombeo a los operarios.

En este caso el sistema debe brindar información en campo al operario sobre el estado del equipo y dar soporte para que pueda atender averías y mantenimientos

de manera independiente. En la tabla 6 se recogen los requerimientos que debe cumplir esta parte.

Tabla 6. Requerimientos para facilitar conocimiento e información de los equipos a los operarios.

Fuente: elaboración propia.

Número	Requerimientos
1	El sistema debe adaptarse a los protocolos existentes de mantenimiento del equipo.
2	Proveer a los operarios guías paso a paso en caso de un fallo en el sistema o para algún mantenimiento.
3	Debe mostrar información sobre los principales equipos del sistema como: manuales, guías de conexión, planos, números de parte, entre otros.
4	Permitir al operario reconocer cada uno de los equipos cuando se encuentre frente a estos.
5	Permitir al operario visualizar el estado de las variables más importantes del sistema.

A partir del análisis de los requerimientos establecidos en la tabla 6 y conociendo la definición y el uso de las aplicaciones de la realidad aumentada, se establece que una aplicación de este tipo ayuda a cumplir cada uno de los requerimientos (ver tabla 7), mejorando la eficiencia operacional incorporando tecnología digital.

Tabla 7. Comparación de las características de un sistema de realidad aumentada con los requerimientos para facilitar información de los equipos.

Fuente: elaboración propia.

Características Sistema Realidad Aumentada	Número de requerimiento
Sincroniza en tiempo real la representación virtual con las acciones de los usuarios.	2, 4

Combina la realidad física con datos provenientes de algún equipo.	3, 5
Modifica una escena real agregando información por medio de escenas virtuales.	2, 4
Permite crear puntos de interés en las imágenes.	2, 4, 5

El único requerimiento que no se puso en la tabla 7 es el primero, que dice que el sistema se debe adaptar a los protocolos de mantenimiento existentes. Esto lo que indica es que el sistema debe ser capaz de ayudar a cualquier operario, en cualquier momento y eventualmente en la mayor cantidad de circunstancias, mínimo en las situaciones que considere el ingeniero del hospital más frecuentes. Esto es algo que el sistema de realidad aumentada cumple porque es una aplicación que funciona desde cualquier teléfono celular y en cualquier momento solo con estar frente al equipo y permite crear escenas o procedimientos cuando se presenta una situación específica.

Considerando que se eligió desarrollar una aplicación de realidad aumentada, se decidió utilizar *Augmented Operator Advisor* porque es el software con el que cuenta la empresa para este tipo de aplicaciones y, además, se adapta perfectamente a la solución, ya que permite crear aplicaciones que mejoran los activos en planta, hacer procesos de mantenimiento más eficientes y dar poder a la fuerza de trabajo, por medio del acceso inmediato a la información, variables en tiempo real, instrucciones de procesos a seguir, manuales, entre otros. Igualmente, tiene la ventaja que permite dar acceso inmediato a la información evitando tiempos muertos y pasos de línea innecesarios. Por lo tanto, es una aplicación ideal para cumplir con los requerimientos antes establecidos.

Finalmente, es posible establecer que el sistema de almacenamiento de datos en la nube ayuda en la solución de esta parte, porque la información que se va a historiar se va a poder mostrar luego a los operarios. Con esto el operario va a contar con diferentes herramientas que le van a ayudar a conocer mejor los equipos que está operando y el estado de cada uno de ellos en tiempo real.

3.3.4 Relación entre la división del problema y las soluciones definidas.

En la figura 18 se observa de manera gráfica y resumida la forma en que se resolvió cada uno de los enfoques del problema con las respectivas soluciones.



Figura 18. Relación de la división del problema con las soluciones propuestas

Fuente: elaboración propia.

4 Desarrollo de la solución

4.1 Diagnóstico de los equipos a conectar y sus respectivas señales.

Se debe extraer la información más relevante de cada máquina para poder mostrarla y almacenarla en los diferentes sistemas, para ello es necesario realizar un diagnóstico de cada una con el fin de conocer la forma en que son controladas y en que manejan la información.

Igualmente, es importante conocer la forma en que opera cada máquina para poder seleccionar cada una de las señales que se van a extraer y poder analizar cómo usar dicha información. Para esto es necesario observar al operario realizando las diferentes actividades y ver el equipo funcionando para determinar cuáles son las señales de mayor importancia y descubrir las necesidades que se tienen, tanto en el proceso, como en el funcionamiento de los equipos.

4.1.1 Diagnóstico del Sistema de Bombeo

El sistema de bombeo es un tablero de control de bombas (figura 19), en el cual se recolectan las diferentes señales y donde se encuentran los equipos que protegen y controlan el arranque de estas.

Este sistema, como se ha mencionado en secciones anteriores, es el encargado de suministrar el agua de todo el hospital. El agua es bombeada desde dos tanques principales y en cada tanque hay dos bombas, las cuáles se controlan desde el tablero. Las bombas tienen tres modos de operación que el operario puede seleccionar: automático, manual y apago.



Figura 19. Sistema de bombeo del Hospital de San Carlos.

Fuente: elaboración propia.

La forma automática funciona a través de un control de presión constante, el cual lo realiza un PLC que se encuentra dentro del gabinete. Igualmente, el sistema es capaz de medir algunas variables que son importantes para asegurarse que el funcionamiento de las bombas sea óptimo. A continuación, se resumen los principales equipos y sensores que componen el sistema:

Tabla 8. Descripción de los componentes del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Cantidad	Descripción
4	Bomba de 10Hp y 6000 gal/min
4	Variador de velocidad del motor
2	PLC M221 Schneider Electric

2	Medidor de caudal
2	Medidor de presión
2	Medidores de nivel
1	Medidor de calidad del agua
2	Supresor de tensiones
2	Sistema de alimentación interrumpida

Al analizar la composición del panel se determinó que todos los equipos que se muestran en la tabla 8 se encuentran conectados a un PLC máster, por lo tanto, se decidió extraer la información desde ese equipo. El otro PLC es un esclavo que se encarga de enviar señales al PLC máster, por lo tanto, toda la información está en un solo dispositivo.

Para conocer la dirección de memoria de cada una de las señales fue necesario conectarse con el PLC, para ello se tuvo que investigar sobre el protocolo de comunicación que posee y el software que se utiliza para programarlo. El PLC M221 marca Schneider Electric utiliza el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, cuenta con un puerto Ethernet y el software de programación se llama SoMachine.

A partir del análisis del programa del PLC se determinó el tipo de control de presión constante que realiza. El PLC modela un control PID que tiene como entrada la presión de la tubería y como salida la frecuencia del motor, como se observa en la figura 20. Dicha salida de frecuencia se envía al variador de velocidad y es de esta forma que se regula la velocidad del motor y, por lo tanto, el flujo de agua en el sistema.



Figura 20. Control realizado por el PLC para mantener la presión constante.

Fuente: elaboración propia.

Dentro del PLC existen una gran cantidad de señales las cuáles tienen asignadas una dirección Modbus específica. No es necesario mostrar todas estas señales, por lo tanto, para clasificar y seleccionar las de mayor importancia se hizo un estudio del funcionamiento del sistema, la función que debe cumplir y la forma en que los operarios trabajan los equipos.

La tabla 8 ayuda a identificar los equipos más importantes que tiene el sistema y junto con el estudio realizado sobre los equipos se determina la siguiente información a extraer:

- La medición de cada uno de los sensores, porque son claves en el monitoreo de la calidad del agua y en el correcto funcionamiento del sistema de bombeo.
- Las señales de las bombas, porque son el elemento principal del sistema.
- Todas las señales de fallo que están cableadas al PLC para determinar cualquier irregularidad.
- Las señales de configuración para la regulación del PID.

En la tabla 9 se aprecian las señales consideradas de mayor relevancia del PLC con su respectiva dirección Modbus.

Tabla 9. Señales y direcciones de memoria extraídas del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Nombre de señal	Dirección Memoria	Nombre de señal	Dirección Memoria
Fallo equipos		Configuración	
Problema módulo analógico	%M0	Histéresis de frecuencia	%MW15
Sensor de nivel 1	%M15	Constante derivativa PID	%MW4
Sensor de nivel 2	%M16	Constante integral PID	%MW3
Supresor de tensión 1	%M32	Constante proporcional PID	%MW2
Supresor de tensión 2	%M33	Presión deseada	%MW17

UPS 1	%M34	Velocidad de salida	%MW14
UPS 2	%M35	Velocidad de sincronía	%MW13
Sensores		Bomba 1	
Cloro	%MW57	Automático	%M40
Frecuencia de salida	%MW51	Confirmación	%M20
Presión actual	%MW12	Corriente	%MW21
Flujómetro 1 instantáneo	%MW53	Fallo	%M45
Flujómetro 1 total	%MW59	Horas	%MW22
Flujómetro 2 instantáneo	%MW55	Bomba 2	
Flujómetro 2 total	%MW61	Automático	%M42
Nivel de tanque 1	%MW63	Confirmación	%M26
Nivel de tanque 2	%MW65	Corriente	%MW25
PH cloro	%MW70	Fallo	%M47
		Horas	%MW26
Bomba 3		Bomba 4	
Automático	%M42	Automático	%M43
Confirmación	%M26	Confirmación	%M29
Corriente	%MW25	Corriente	%MW27
Fallo	%M47	Fallo	%M48
Horas	%MW26	Horas	%MW28

Con la información de las bombas que se muestra en la tabla 9 es posible conocer el estado de operación de cada una, es decir, si están en modo automático, encendidas o en fallo. Igualmente, se puede monitorizar las horas de funcionamiento y la corriente de operación. Con las señales de fallos de equipos es posible detectar el equipo específico que fallo. Las señales de configuración sirven para ajustar los parámetros del control de PID. Por último, las señales de los sensores sirven para monitorizar todo el sistema y activar alarmas cuando algún parámetro este fuera de rango o cerca de los límites de funcionamiento.

En la tabla 10 se muestran los rangos de funcionamiento para cada una de las señales de los sensores, dando valores máximos y mínimos. Estos valores fueron comprobados y confirmados por el ingeniero de la casa de máquinas y sirven para generar alarmas cuando alguna de las señales esta por fuera de estos rangos.

Tabla 10. Rangos de funcionamiento para las señales de los sensores del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Equipo	Máximo	Mínimo
Corriente de bombas	11.9 A	8.3A
Frecuencia de las bombas	60Hz	25Hz
Presión	100psi	80psi
Nivel de tanque	285 cm	70cm
Cloro	0.7ppm	0.4ppm
pH	5pH	8pH

4.1.2 Diagnóstico de la Caldera

La caldera que se utiliza es una caldera generadora de vapor de tres pasos, que cuenta con un quemador para generar la combustión y tiene dos controladores que regulan su funcionamiento, uno que controla la llama y seguridad del quemador y otro que controla el proceso. El quemador utiliza dos servomotores para regular automáticamente la cantidad de gas y aire que ingresa para la combustión, esto va a depender de la demanda de trabajo o tasa de modulación establecida en la caldera. En la tabla 11 se muestran las especificaciones de dichos componentes.

Tabla 11. Características de componentes principales de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Equipo	Fabricante	Modelo
Caldera	Superior Boiler Works	X6-X-500
Quemador	S.T. Jhonson Co.	DHF G4GM
Controlador de quemador	Fireye	YB110
Controlador de proceso	Fireye	PPC4000

Al haber dos controladores es necesario establecer una conexión con ambos para extraer la información del funcionamiento. Para ello en la tabla 12 se resumen las principales características de la comunicación de cada controlador.

Tabla 12. Características de comunicación de los controladores de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Características Comunicación	YB110	PPC4000
Protocolo	Modbus RTU	Modbus RTU
Puerto	RJ-09	RS-485
Registro de almacenamiento	FNC 03	FNC 03
Paridad	Ninguna	Ninguna
Bits de parada	1	1
Baud rate	9600	9600
ID	2	1

Para conocer la información que cada uno puede brindar y las direcciones específicas de los datos se puede acceder a la tabla de direcciones Modbus de dichos controladores. Es necesario identificar los parámetros más importantes utilizados en el proceso y los que brindan más información del funcionamiento de la caldera.

El controlador del quemador se considera el más importante de ambos, ya que, monitorea la llama, permite una secuencia de arranque segura y controla el quemador, lo que implica que es capaz de apagar la llama si detecta algún funcionamiento erróneo, evitando de esta manera cualquier accidente. De la tabla de direcciones Modbus se seleccionaron los parámetros relacionados con el estado de la llama, el estado actual del quemador y el estado de las distintas entradas y salidas digitales, tal y como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Parámetros extraídos del controlador del quemador.

Fuente: [29].

N	Variable	Dirección Modbus
1	Estatus del quemador (Run/Lockout)	40001
2	Mensaje actual en el monitor	40002
3	Tipo de tiempo	40003
4	Tiempo en segundos	40004

5	Señal de llama	40005
6	Estado del módulo lógico del quemador	40006
7	Estado de los límites de entrada	40007
8	Estado de los relés de salida	40008

Por otra parte, el controlador de proceso brinda información general relacionada con el funcionamiento de la caldera y la configuración de los diferentes dispositivos que tiene conectados, la tabla Modbus brinda información detalla sobre cada una de estas señales.

Las principales variables extraídas de este controlador, que brinda información del estado de operación de la caldera, son las siguientes:

- Tasa y el tipo de modulación,
- Posición de los servomotores de gas y aire.
- Estado de operación.
- Valor de la entrada digital que indica cuando se activa el control del quemador.
- Temperatura interna.
- Presión de vapor.
- Señales de fallo.
- Señales para modificaciones en el control de la caldera.

De forma especial se extraen los datos de la configuración del sensor 1, debido a la importancia que tiene en el funcionamiento de todo el sistema, ya que, es el encargado de medir la presión de vapor, señal que utiliza el controlador para modular el sistema a una presión de vapor estable y continua.

En la tabla 14 se muestran todos los datos que se extraen con sus respectivas direcciones de memoria.

Tabla 14. Parámetros extraídos del controlador de proceso.

Fuente: [30].

N	Variable	Dirección Modbus
1	Estado de operación	4001
2	Tasa de modulación actual (de 0-100% solo lectura)	4009

3	Modulación actual modo de razón (0,1,2,3,4,5,6,7,8,9)	4010
4	Temperatura de control interna actual	4011
5	Valor actual de entradas digitales	4018
6	Constante de calibración del sensor	4052
7	Sensor 1 valor bruto (presión de vapor)	4060
8	Posición actual del servo 1 (gas)	4080
9	Posición actual del servo 2 (aire)	4089
10	Historial de bloqueo: número de error activo actual	4192
11	Historial de bloqueo: número total de errores detectados	4193
12	Ajuste usado en sensor 1	4263
13	Ajuste 1 derivativo e integral	4264
14	Valor del ajuste del sensor 1	4265
15	Valor de corte de entrada sensor 1	4266
16	Valor de corte de salida sensor 1	4267
17	Valor de margen de operación 1	4268
18	Valor del margen de alarma sensor 1	4269
19	Valor límite de alarma sensor 1	4270
20	Control encendido/apagado quemador	41002
21	Control fuego bajo quemador	41003
22	Control maestro de secuencia quemador	41004
23	Control auto manual quemador	41005
24	Tasa de modulación manual	41018

Con las señales de la tabla 14 es posible monitorear el estado y el funcionamiento de la caldera. Igualmente, es posible modificar ciertos parámetros cambiando el estado de estos. Para encender el quemador o poner el quemador en modo de fuego bajo, como maestro de secuencia o manual basta con poner la respectiva dirección Modbus en 1. La tasa de modulación manual sirve para controlar la modulación en modo manual, es un valor de 0 a 100.

4.2 Sistema de Control Centralizado (SCADA)

En esta sección se describe como es que se establece la comunicación con cada uno de los controladores y la forma en que se presenta y se trabaja toda la información que se recolecta.

Para unificar el control y mostrar la información de la caldera y el sistema de bombeo se utiliza el software *In Touch Edge*. El software se debe instalar en una PC industrial o convencional que tenga como sistema operativo Windows (el software tiene la ventaja que es soportado por distintas versiones de Windows) y se debe ubicar en el cuarto del operador. Esta PC debe tener un puerto para comunicación Ethernet con RJ45 y otro para comunicación serial, esto por lo descrito en la sección 4.1 sobre los tipos de comunicación soportados por los diferentes controladores. De no contar con un puerto Modbus serial se puede utilizar un cable que actúe como un puerto COM virtual en el sistema del PC, convirtiendo las señales serie en señales RS-485 a través de una conexión USB, es decir, es un cable que proporciona una conexión entre un PC equipado con un puerto USB A y dispositivos RS-485 equipados con un conector RJ45.

4.2.1 Comunicación con los Controladores

Para establecer una comunicación con cada uno de los controladores desde la PC es necesario utilizar un controlador de comunicación propio del software de *In Touch Edge* y específico para cada tipo de comunicación.

En el caso del sistema de bombeo para comunicar con el PLC se utiliza un controlador para comunicación Modbus TCP/IP a través de un puerto Ethernet RJ45. Para extraer la información se utilizan las direcciones de la tabla 9 y se crean variables internas en el software del SCADA que están relacionadas directamente, a través de comunicación, con las variables propias del PLC. La conexión física se realiza a través de un *switch* Ethernet que se encuentra instalado en el gabinete.

En la caldera, para ambos controladores, se usa un único controlador en el software para comunicación serial Modbus RTU. Para ello es necesario utilizar un conector Modbus tipo T que permite recolectar las dos señales de los controladores y conectar una única entrada en la PC, tal y como se muestra en la figura 21. En este caso, al igual que con el PLC del sistema de bombeo, se crean variables internas en el software usando las direcciones de la tabla 13 y 14, asignando un ID diferente para cada controlador.

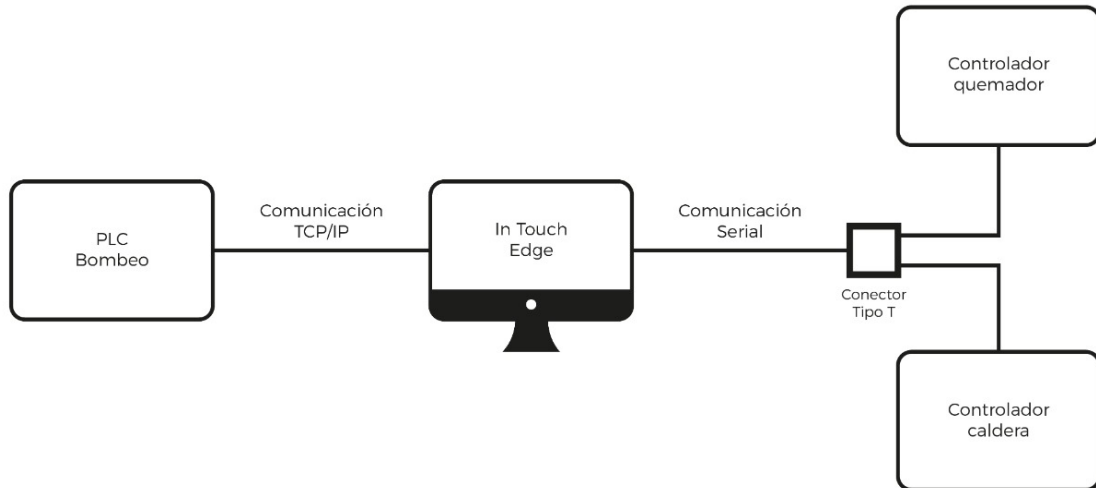


Figura 21. Conexión física de los controladores con la PC.

Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Monitoreo y Control del Sistema de Bombeo

La interfaz para monitorear y controlar el sistema de bombeo se logra usando el mismo software *In Touch Edge*. La velocidad en la que se actualizan los datos del PLC en el software es en tiempo real gracias a que la velocidad de transmisión de los datos del PLC a través de la comunicación Modbus TCP/IP vía Ethernet es de 100 Mbps (megabits por segundo) [31].

El sistema permite visualizar los distintos datos de diferentes maneras, por ejemplo, la figura 22 muestra la información general del sistema, tanto del panel de bombeo como de la caldera.

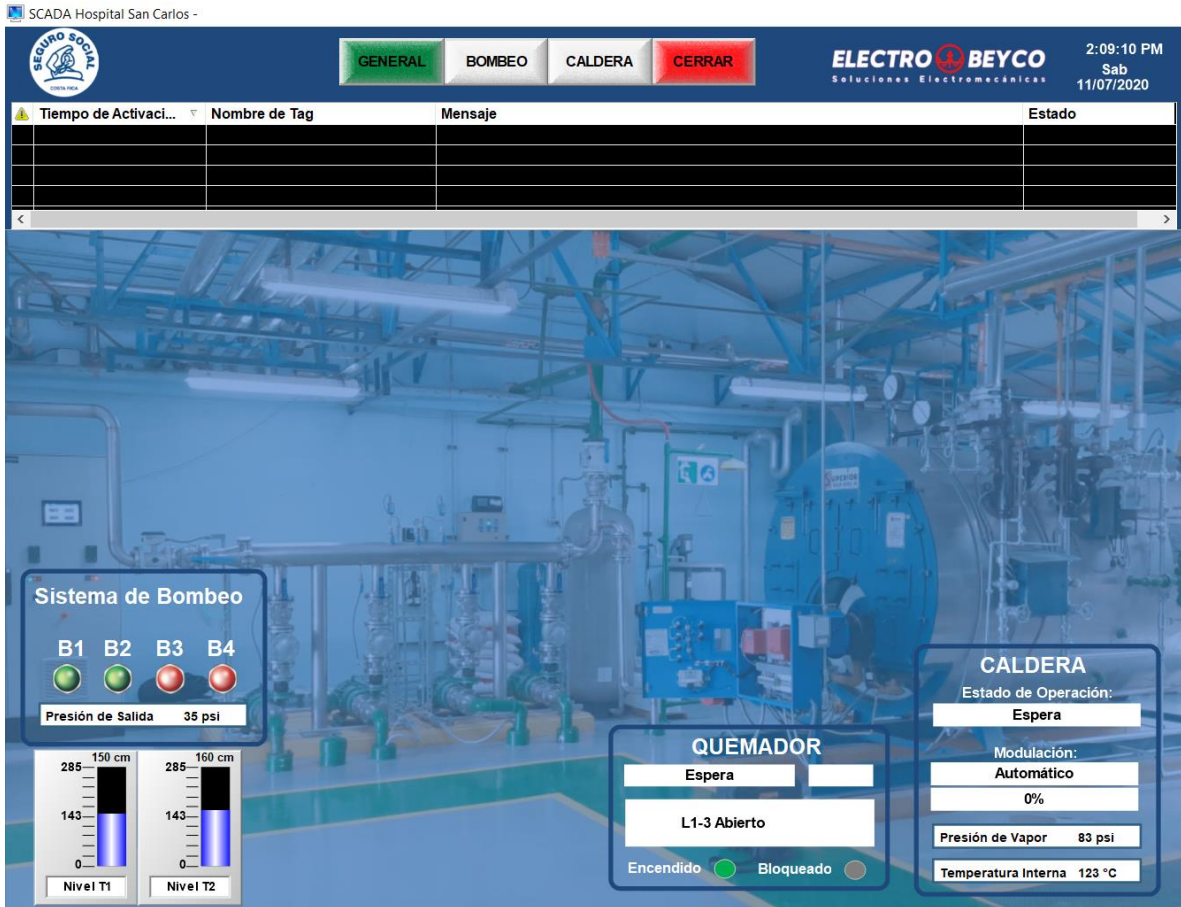


Figura 22. Pantalla de información general del SCADA para ambos sistemas.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 23 es posible visualizar todas las señales que se monitorizan del panel de bombeo, las cuáles son las siguientes:

- Presión de salida
- Caudales.
- Nivel de los tanques.
- Cantidad de cloro y pH.
- Estado de las bombas a través de color que presenta cada una (verde: marcha, roja: paro y anaranjado: fallo).
- Estado de operación automático con visualización de señal “AUTO” (verde: automático activado, rojo: automático desactivado).

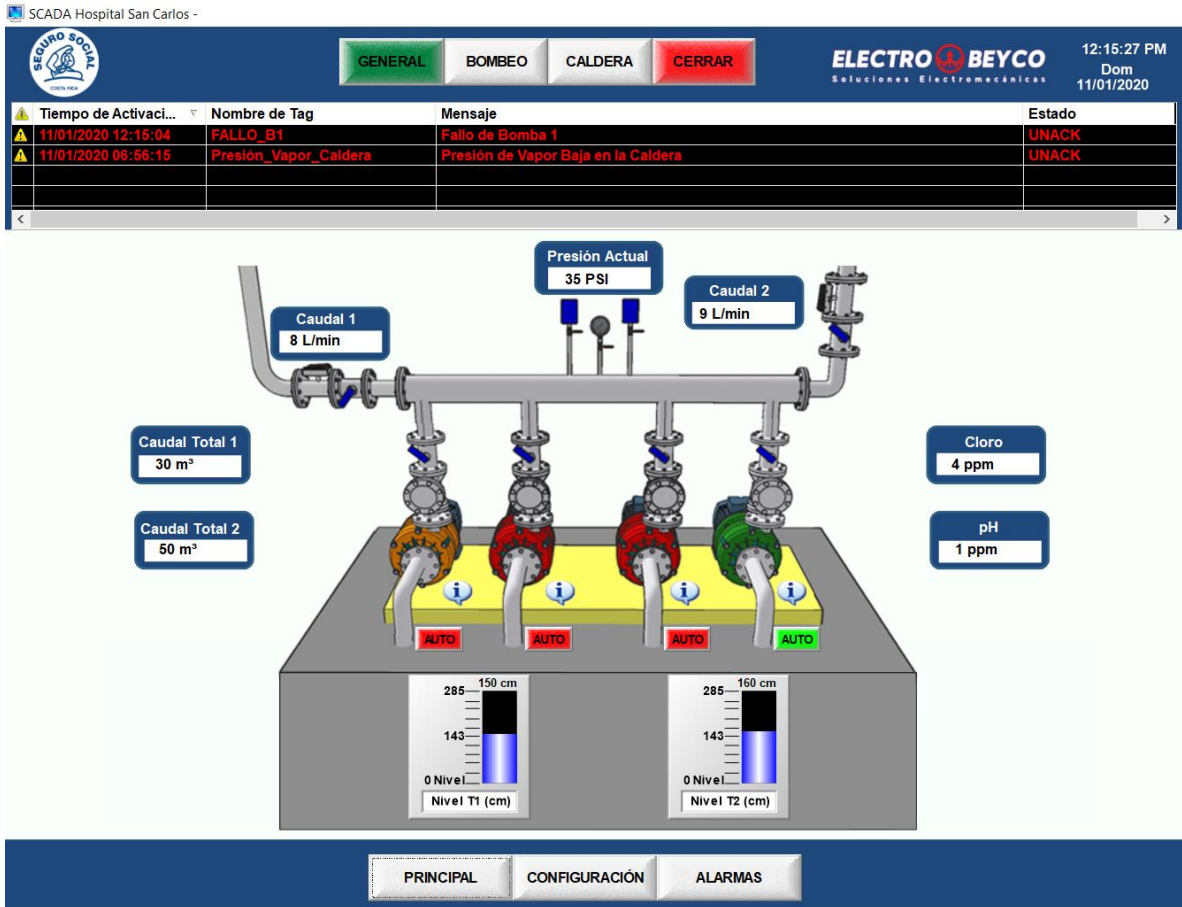


Figura 23. Pantalla de información principal del panel de bombeo en el SCADA.

Fuente: elaboración propia.

Hay una pantalla emergente que permite visualizar en detalle la información de cada una de las bombas, tal y como se muestra en la figura 24, donde se muestran la frecuencia de salida, la corriente, las horas de funcionamiento y estatus de la bomba.

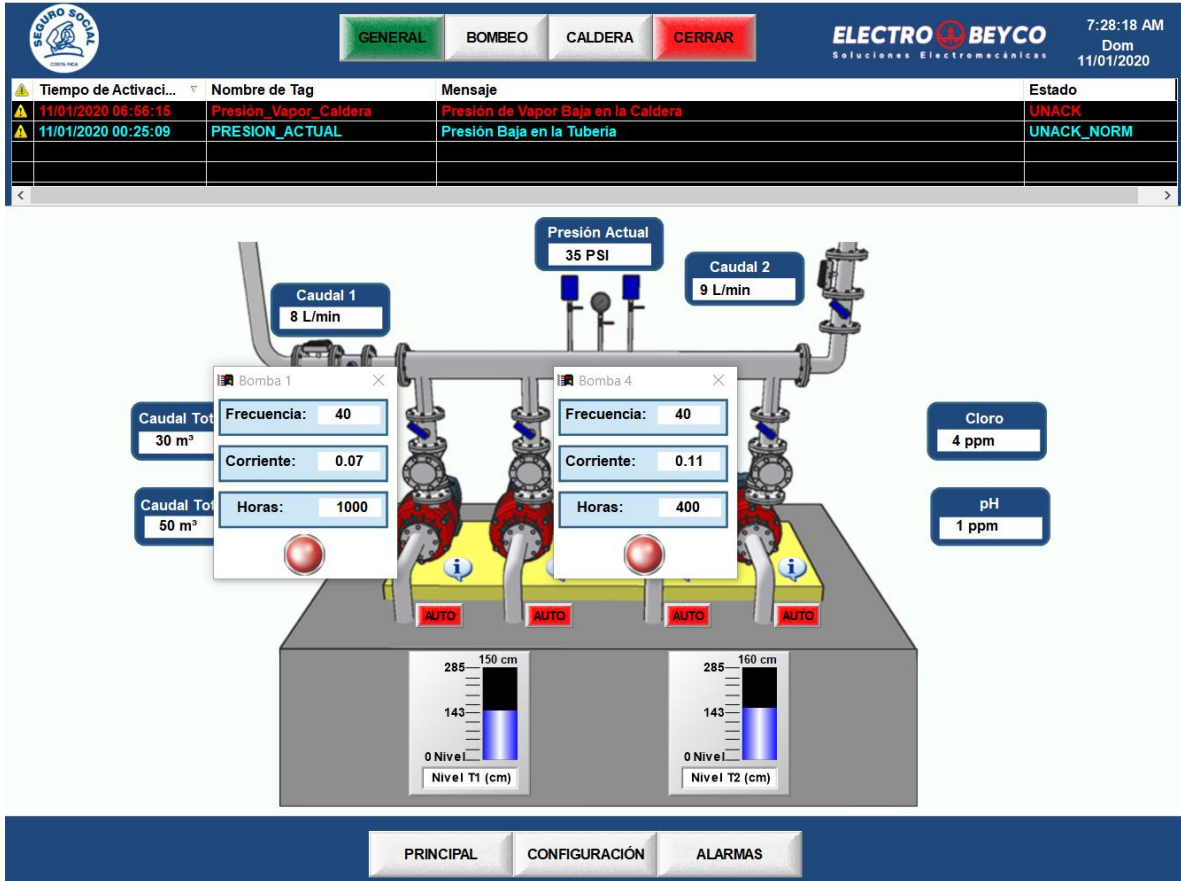


Figura 24. Pantalla emergente para visualizar los detalles de cada bomba.

Fuente: elaboración propia.

La pantalla de configuración permite incidir directamente en el control de las bombas. En esta parte se pueden modificar los parámetros y los valores de referencia del PID. También, se puede encender el modo automático de cada una de las bombas por separado.



Figura 25. Pantalla para cambiar parámetros de configuración de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Existe también una pantalla de fallos del sistema de bombeo, que alerta cuando algún parámetro está fuera de los límites de funcionamiento esperados. Para seleccionar las variables de fallos se utilizó la tabla 9 donde se muestra cuáles son las variables booleanas que indican un fallo; además, se utilizó la tabla 10 donde se indica cuáles son los parámetros de funcionamiento adecuados para cada señal. En la tabla 15 se pueden observar todos los fallos que se programaron en el sistema.

Tabla 15. Señales de alarma para el sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Fallos	Tipo	Límite	Mensaje
Fallo Analógica	Alto	1	Fallo en Módulo Analógico PLC 1
Fallo Sensor de Nivel Tanque 1	Alto	1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1
Fallo Sensor de Nivel Tanque 2	Alto	1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 2
Fallo Supresor 1	Alto	1	Fallo en Supresor 1

Fallo Supresor 2	Alto	1	Fallo en Supresor 2
Fallo UPS 1	Alto	1	Fallo de UPS 1
Fallo UPS 2	Alto	1	Fallo de UPS 2
Frecuencia Actual	Alto	60	Frecuencia muy Alta en los Motores
Frecuencia Actual	Bajo	20	Frecuencia muy Baja en los Motores
Presión Actual	Alto	90	Presión Alta en la Tubería
Presión Actual	Bajo	10	Presión Baja en la Tubería
Corriente Bomba 1	Alto	12	Corriente Alta en Bomba 1
Fallo Bomba 1	Bajo	0	Fallo de Bomba 1
Corriente Bomba 2	Alto	12	Corriente Alta en Bomba 2
Fallo Bomba 2	Bajo	0	Fallo de Bomba 2
Corriente Bomba 3	Alto	12	Corriente Alta en Bomba 3
Fallo Bomba 3	Bajo	0	Fallo de Bomba 3
Corriente Bomba 4	Alto	12	Corriente Alta en Bomba 4
Fallo Bomba 4	Bajo	0	Fallo de Bomba 4
Cloro	Alto	1.5	Nivel Alto de Cloro en el Agua
Cloro	Bajo	0.3	Nivel muy Bajo de Cloro en el Agua
Nivel Tanque 1	Alto	280	Nivel Alto en Tanque 1
Nivel Tanque 1	Bajo	160	Nivel Bajo en Tanque 1
Nivel Tanque 2	Alto	280	Nivel Alto en Tanque 2
Nivel Tanque 2	Bajo	160	Nivel Bajo en Tanque 2
pH Cloro	Alto	0.7	Nivel Alto de pH en el Agua
pH Cloro	Bajo	0.6	Nivel Bajo de pH en el Agua

Existen dos pantallas para visualizar los fallos, una que muestra los fallos existentes y el estado actual de cualquier alarma que se presente tanto del sistema de bombeo como de la caldera (ver figura 26), esta pantalla siempre esta visible desde cualquier parte del sistema. La otra pantalla de fallos se muestra en la figura 27 y corresponde al historial de fallos del sistema de bombeo, ahí se pueden ver los detalles de cuando una alarma es activada (color rojo), reconocida (color verde) y normalizada (color celeste).

SCADA Hospital San Carlos -



	GENERAL	BOMBEO	CALDERA	CERRAR		10:38:41 AM Dom 11/01/2020
⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado			
11/01/2020 06:58:15	Presion_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	UNACK			

Figura 26. Pantalla para visualización de alarmas activas.

Fuente: elaboración propia.

SCADA Hospital San Carlos -

BEAUNO SOCIAL

GENERAL BOMBEO CALDERA CERRAR

ELECTRO BEYCO Soluciones Electromecánicas 10:48:35 AM Dom 11/01/2020

Tempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	UNACK

HISTORIAL DE ALARMAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Tempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 09:52:14	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Alto en Tanque 2	ACK_NORM
11/01/2020 09:52:14	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Alto en Tanque 2	ACK
11/01/2020 09:52:14	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Alto en Tanque 2	UNACK
11/01/2020 09:48:21	FRECUENCIA_ACTUAL	Frecuencia muy Alta en los Motores	ACK_NORM
11/01/2020 09:48:21	FRECUENCIA_ACTUAL	Frecuencia muy Alta en los Motores	ACK
11/01/2020 09:48:21	FRECUENCIA_ACTUAL	Frecuencia muy Alta en los Motores	UNACK
11/01/2020 09:35:56	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	ACK_NORM
11/01/2020 09:35:56	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	ACK
11/01/2020 09:35:56	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	UNACK
11/01/2020 09:32:59	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	ACK_NORM
11/01/2020 09:32:59	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	ACK
11/01/2020 09:32:59	CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	UNACK
11/01/2020 09:31:03	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	ACK_NORM
11/01/2020 09:31:03	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	ACK
11/01/2020 09:31:03	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	UNACK
11/01/2020 09:29:37	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	ACK_NORM
11/01/2020 09:29:37	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	ACK
11/01/2020 09:29:37	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	UNACK

PRINCIPAL CONFIGURACIÓN ALARMAS

Figura 27. Pantalla para visualización del historial de alarmas del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Ambas pantallas permiten observar los siguientes detalles sobre cada alarma que se presente:

- Fecha y hora en que se presentó algún cambio en el estado de la alarma
- Nombre de la variable dentro del programa.
- Mensaje para cada alarma.
- Estado de cada alarma (activo, reconocido y normalizado).

El espacio de memoria ocupado por cada alarma que se presenta depende del tamaño del mensaje. Es decir, cuando una alarma se activa debe pasar obligatoriamente por tres estados: activación, reconocimiento y normalización; estos tres estados se guardan en el historial con su respectiva información y ocupan un espacio total en la memoria.

En el anexo 1 se encuentra un manual de usuario que detalla a fondo sobre la navegación en las distintas pantallas, el funcionamiento del sistema y como es el manejo de las alarmas.

4.2.3 Monitoreo y Control de la Caldera

La caldera, como se mencionó en la sección 4.1.2, tiene dos controladores uno para el quemador y otro para el proceso, por lo tanto, la parte del monitoreo y muestreo de las señales se dividió en dos pantallas. En la figura 28 se muestran las principales señales que brinda el controlador del proceso y en la figura 29 las señales del controlador del quemador. En este caso la velocidad de transmisión de los datos de los controladores es de 9600 bps.

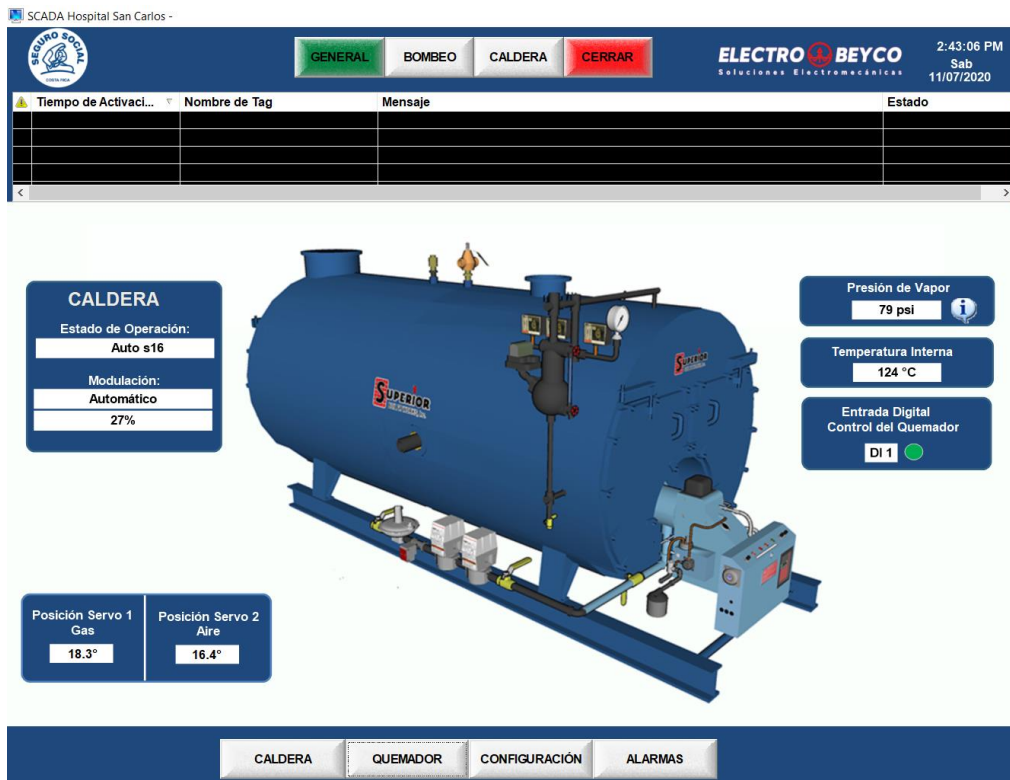


Figura 28. Pantalla de información general del estado de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

SCADA Hospital San Carlos -


GENERAL BOMBEO CALDERA CERRAR

ELECTRO BEYCO Soluciones Electromecánicas 2:12:06 PM Sab 11/07/2020

⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado

Entradas Digitales

Línea AC Ref <input checked="" type="checkbox"/>	Inicio Bloqueado <input checked="" type="checkbox"/>
Inicio de Fuego Bajo <input checked="" type="checkbox"/>	Control Optimizado <input checked="" type="checkbox"/>
Espera Piloto <input type="checkbox"/>	Soplador <input checked="" type="checkbox"/>
FVES POC <input checked="" type="checkbox"/>	Arranque <input checked="" type="checkbox"/>
Entrada de Arranque <input type="checkbox"/>	Válvula Piloto <input checked="" type="checkbox"/>
Reinicio Remoto <input type="checkbox"/>	Válvula de Retardo <input type="checkbox"/>
Repuesto <input type="checkbox"/>	Válvula Principal <input checked="" type="checkbox"/>
Amortiguador de Purga <input type="checkbox"/>	Relé de Seguridad <input checked="" type="checkbox"/>



Salidas Digitales

Alarma <input type="checkbox"/>
Automático <input checked="" type="checkbox"/>
Fuego Alto <input type="checkbox"/>
Fuego Bajo <input type="checkbox"/>
Seguridad Interna <input checked="" type="checkbox"/>
Válvula de Retardo <input type="checkbox"/>
Válvula Principal <input checked="" type="checkbox"/>
Soplador <input checked="" type="checkbox"/>
Válvula Piloto <input checked="" type="checkbox"/>
Arranque <input checked="" type="checkbox"/>

QUEMADOR

Quemador	18
Señal de Llama	
Encendido <input checked="" type="checkbox"/>	Bloqueado <input type="checkbox"/>

CALDERA QUEMADOR CONFIGURACIÓN ALARMAS

Figura 29. Pantalla de información general del estado del quemador.

Fuente: elaboración propia.

De la misma forma, es posible observar los diferentes parámetros de configuración del sensor de presión de vapor por medio de una pantalla emergente, como se muestra en la figura 30.

Figura 30. Pantalla emergente para visualizar la configuración del sensor de presión de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Existen también una pantalla de configuración (ver figura 31) que permite hacer cambios desde el sistema sin necesidad de desplazarse hasta donde se encuentra el equipo. En esta pantalla se puede poner el sistema en modo manual y de esta forma se puede cambiar el valor de la modulación de la caldera, igualmente, se puede apagar o encender la caldera, ponerla en fuego bajo o como maestro de secuencia.

SCADA Hospital San Carlos -

GENERAL BOMBEO CALDERA CERRAR

ELECTRO BEYCO Soluciones Electromecánicas 1:23:44 PM Dom 11/01/2020

⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 12:15:04	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	UNACK
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	UNACK

CONFIGURACIÓN DEL QUEMADOR

ENCENDIDO Off On

FUEGO BAJO Off On

MAESTRO DE SECUENCIA Off On

CONTROL Manual
Automatico

VALOR DE LA MODULACIÓN EN MODO MANUAL



0.0

Solo tiene efecto cuando el control esta en modo manual

CALDERA QUEMADOR CONFIGURACIÓN ALARMAS

Figura 31. Pantalla de configuración de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Al igual que para el panel de bombeo, existe una pantalla de alarmas históricas, como se muestra en la figura 32. En este caso las alarmas funcionan con una señal que proviene del controlador, ya que, es este el que monitorea todas las señales y evalúa el funcionamiento de la caldera.

SCADA Hospital San Carlos -

BEGUINO SOCIAL

GENERAL BOMBEO CALDERA CERRAR

ELECTRO BEYCO Soluciones Electromecánicas 1:26:54 PM Dom 11/01/2020

⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 12:15:04	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	UNACK
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	ACK

HISTORIAL DE ALARMAS DE LA CALDERA

⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	ACK
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	UNACK
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	UNACK

DESCRIPCIÓN ERRORES

CALDERA QUEMADOR CONFIGURACIÓN ALARMAS

Figura 32. Pantalla para visualización del historial de alarmas de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Quando la caldera falla el controlador envía un código numérico que indica cual fallo es el que ocurrió, ese código va a aparecer en la pantalla de alarmas activas del SCADA. Para observar la descripción de la alarma presentada es posible ver el significado de todos los códigos de fallos en la pantalla emergente de “Descripción Errores”, como se muestra en la figura 33. En esta pantalla se puede ver el código de la falla, un mensaje sobre la falla, la razón del error y una posible solución; esta información se tomó directamente de los manuales de la caldera [30].

Tempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
11/01/2020 12:15:04	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	UNACK
11/01/2020 06:56:15	Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Baja en la Caldera	ACK

ID	Códi...	Mensaje	Razón de Error	Posible Solución
1	e1	Fallo PPC4000	ARM CPU Auto-Test	Reemplace PPC4000
2	e2	Fallo PPC4000	ARM CPU Código CRC	Reemplace PPC4000
3	e3	Fallo Placa Z	PPC400 No puede comunicarse con la placa Z	Revise o reemplace la placa Z
4	e4	Rele de Segurida...	Voltaje de de linea activo en el pin 9 de P5 cuando no debería haberlo	Revise el cableado al terminal específico
5	e5	Rele de Segurida...	El sistema no detecta un voltaje activo en su entrada de relE de segur...	Revise el fusible
6	e6	Rele 8 Activo	Voltaje de de linea activo en el pin 2 de P5 cuando no debería haberlo	Revise el cableado al terminal específico
7	e7	Rele 8 Apagado	El sistema no detecta un voltaje activo en en el pin 2 de P5	Reemplace PPC4000
8	e8	Rele D Activo	Voltaje de de linea activo en el pin 1 de P5 cuando no deberÁ-a haberlo	Revise el cableado al terminal específico
9	e9	Rele D Apagado	El sistema no detecta un voltaje activo en en el pin 2 de P5	Reemplace PPC4000
10	e10	No Usado	No Usado	
11	e11	Perfil Invalido	Suministro de voltaje de linea a mas de uno de los siguientes: P15-5;...	Revisar cableado
12	e12	Temperatura Alta	Temperatura Interna es arriba de 80Á°C	Verifique el ventilador o proporcione mejor ventilacion
13	e13	Comprobar el Ca...	Suministro de voltaje de linea al terminal a májs de uno de los siguien...	Revisar cableado
14	e14	Comprobar el Ca...	No se esta conectando uno o mas de los siguientes terminales: P15-2...	Revisar cableado
15	e15	No Servo de Aire	No existe un servo llamado "Aire" en el perfil actual	Nombre un servo como "Aire" en el perfil actual
16	e16	No Servo de Com...	No existe un servo en el perfil actual con uno de los siguientes nombr...	Nombre un servo en el perfil actual como servo de com...
17	e17	Punte de Ajuste In...	No se configurÁ² el punto de ajuste 2 para usar el sensor 1	Configure el punto de ajuste 2 para usar el sensor 1
18	e18	No usado	No usado	
19	e19	Sensor 1 Marginal	El sensor 1 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal
20	e20	Sensor 1 Marginal	El sensor 1 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal
21	e21	Sensor 2 Marginal	El sensor 2 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal

Figura 33. Pantalla emergente sobre descripción de los errores de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Además de la señal de alarma enviada por el controlador, el sistema monitorea de manera personalizada otras señales de la caldera para llevar un control más riguroso. En la tabla 16 se describen todas las alarmas programas para la caldera.

Tabla 16. Señales de fallo para la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Fallos	Tipo	Límite	Mensaje
Número de error	Alto	1	Fallo de la Caldera e{Número_error}
Presión de Vapor	Alto	120	Presión de Vapor Alta en la Caldera
Presión de Vapor	Bajo	10	Presión de Vapor Baja en la Caldera
Servo Gas	Alto	150	Posición del Servo de Gas Elevada
Servo aire	Alto	150	Posición del Servo de Aire Elevada
Temperatura Caldera	Alto	150	Temperatura Caldera Elevada

4.2.4 Materiales necesarios

Los materiales necesarios para poder implementar el sistema de control centralizado son los siguientes:

- PC industrial con monitor o HMI.
- Conector Modbus tipo T
- Cable UTP con terminales RJ45 cableado a través de una tubería o ducto independiente desde el panel de control de las bombas y de la caldera hasta el cuarto del operador.
- Licencia *Full Runtime* de 500 tags para *In Touch Edge*.

La PC industrial debe tener los siguientes requerimientos, considerando la arquitectura de la conexión que se tiene y las especificaciones del software:

- Puerto: Ethernet RJ45 y otro para comunicación serial.
- Sistema operativo Windows: Server 2012, Server 2016, 7,8, 10, 10 IoT Enterprise, 7 Embedded Standard o 8 Embedded Standard.
- Memoria de almacenamiento mínima: 1GB para el software y más el espacio necesario para almacenar los fallos (los cálculos para la cantidad de espacio de memoria necesario para almacenar los fallos de un año se detallan en la sección 5.1).
- Memoria RAM mínima necesaria: 1GB.
- Resolución de pantalla de 1024x768 mínimo.

4.3 Sistema de recolección y manejo de datos

A continuación, se describe la manera en que se van a almacenar los datos de funcionamiento de ambos sistemas y la forma en cómo se van a mostrar dichos datos.

Este sistema utiliza una aplicación de IoT para recolectar, almacenar y mostrar los datos. La aplicación se llama *AVEVA Insight*, esta es capaz de conectarse y comunicarse con el *In Touch Edge*, por lo tanto, utiliza los datos recolectados por este sistema. Para acceder a los datos almacenados por esta aplicación se puede hacer directamente desde internet en la página de *AVEVA Insight* usando un usuario habilitado o utilizando la aplicación para celulares y

tabletas de *AVEVA Insight*. Para visualizar estos datos es posible hacerlo desde cualquier lugar solamente es necesario tener conexión a internet y tener un usuario válido.

4.3.1 Conectar los datos con AVEVA

Para enlazar los datos de los equipos con el *AVEVA Insight*, es necesario seguir los pasos que se describen a continuación:

- Ejecutar *Studio Database Gateway*, aplicación que por defecto se instala en la PC cuando se instala *In Touch Edge*.
- Crear una conexión con *Wonderware Online Connections*.
- Ejecutar *AVEVA Insight Publisher* y registrarse con las credenciales de *AVEVA Insight*,

Por lo tanto, la función de *AVEVA Insight Publisher* se encarga de ser el medio para llevar los datos de *In Touch Edge* a través de la conexión creada en *Studio Database Gateway*, el cual es el que habilita la comunicación con la base de datos del *runtime*. Los datos que son subidos a la nube son los que son colocados en una carpeta específica del *In Touch Edge* y estos se actualizan según el plan suscrito que se adquiriera. Igualmente, el plan suscrito adquirido determina la cantidad de datos que se pueden almacenar y el tiempo que se guardan los históricos.

4.3.2 Visualización y manejo de los datos en la nube

De los datos que se muestran en la tabla 9 las variables encargadas de medir las diferentes señales que ayudan a controlar, monitorizar y manejar el sistema de bombeo son las de los diferentes sensores y las de corriente en las bombas. Las demás variables se consideran variables de estado, que sirven para conocer los distintos modos de operación en un momento específico, pero no describen una condición o no miden un parámetro, por lo tanto, no se consideran para ser almacenadas en la nube. En este caso, los datos que se van a almacenar son los siguientes:

- Presión actual.
- Frecuencia de salida

- Corriente en la bomba 1, 2, 3 y 4.
- Flujómetro lavandería y flujómetro hospital.
- Nivel de tanque 1 y 2.
- Nivel de Cloro.
- Nivel de pH.

En el caso de la caldera, para seleccionar las variables que se consideran que tienen una mayor relevancia sobre el funcionamiento del equipo y que permiten a largo plazo poder hacer un estudio de este, se utiliza como apoyo lo establecido por la literatura en la sección 2.8 sobre los principales parámetros de las calderas y se selecciona de las tablas 10 y 11 las siguientes señales:

- Presión de vapor.
- Servo gas.
- Servo aire.
- Temperatura de la caldera.
- Tasa de modulación caldera.

Los datos que se mencionaron anteriormente se utilizan para crear diferentes paneles de información y así mostrarlos de diferentes formas en la nube. En la figura 34 se muestra el panel de información general que muestra los datos tanto del sistema de bombeo como de la caldera.



Figura 34. Panel de información general del sistema de recolección y manejo de datos.

Fuente: elaboración propia.

También se crearon dos paneles individuales para cada una de las señales o para las señales del mismo tipo. El primero permite conocer el valor actual de la señal que se quiera observar y el segundo muestra el histórico de datos en diferentes periodos de tiempo: última hora, hoy, ayer, últimos 3 días, últimos 7 días o el último mes. Un ejemplo de estos paneles se observa en las figuras 35 y 36, además en el anexo 2 se observan todos los paneles creados en la aplicación.

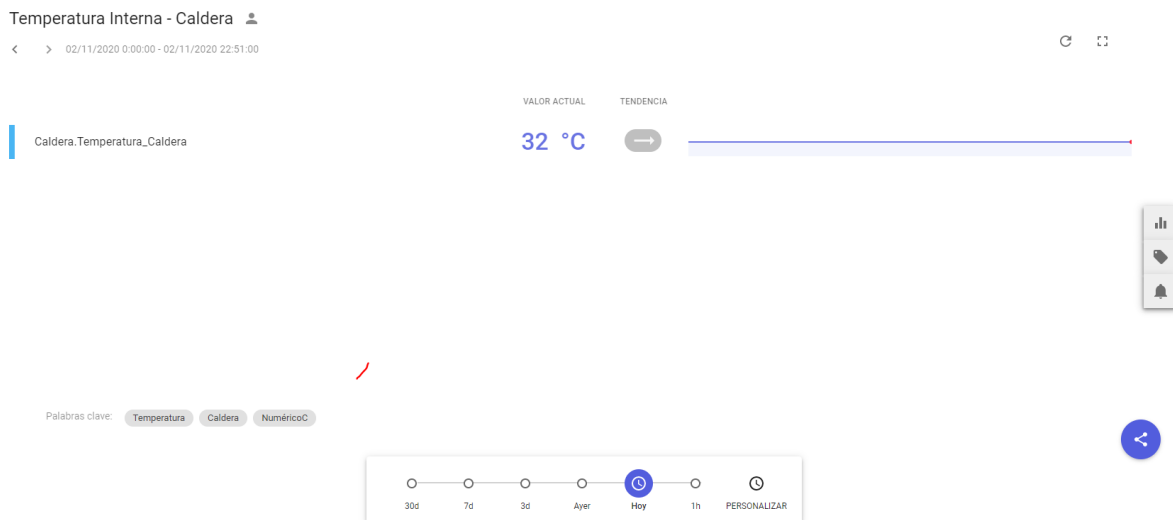


Figura 35. Panel que muestra el valor actual de la señal en la nube.

Fuente: elaboración propia.

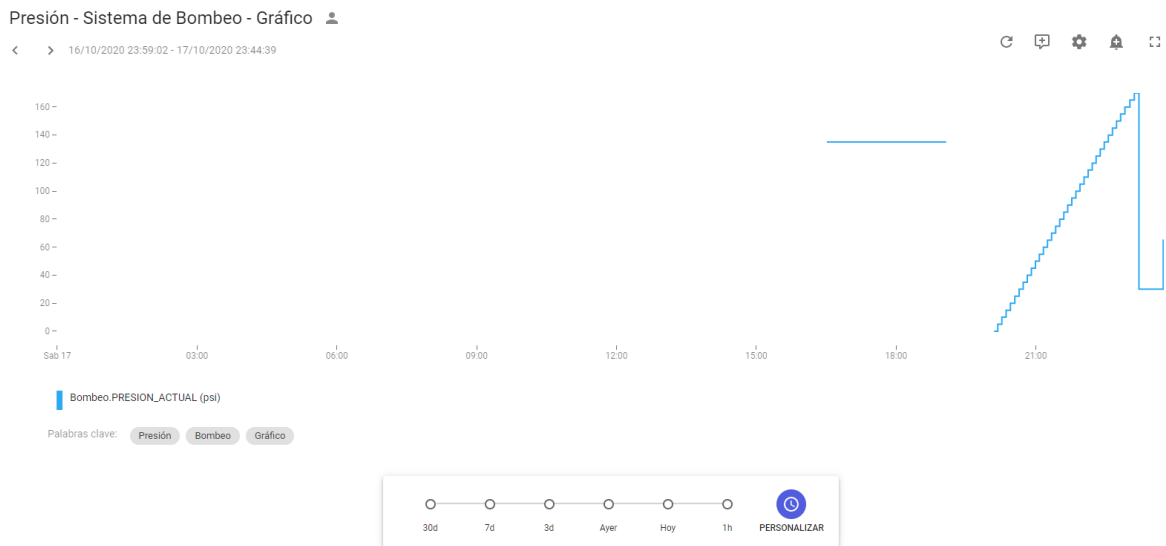


Figura 36. Panel que muestra el histórico de datos en la nube durante diferentes periodos de tiempo.

Fuente: elaboración propia.

4.3.3 Manejo de las alarmas

La aplicación utilizada permite programar alarmas para las distintas variables cuando se cumple alguna condición. En este caso se le pusieron alarmas a todas las variables que se encuentran en la nube y que están en las tablas 15 y 16, con las mismas condiciones de activación.

Cuando una de las condiciones de las alarmas se activa el sistema lo que hace es enviar un correo electrónico a una dirección específica, previamente programada. El mensaje que envía al correo es el mismo que se muestra en las tablas 15 y 16, igualmente, en la figura 37 se puede observar el correo específico que se envía. Cuando la señal se normaliza el sistema vuelve a enviar un correo que indica que la alarma ya no está presente, tal y como se muestra en la figura 38.

Hello,

AVEVA Insight detected a condition violation:

Alert from condition:	Presión Baja Sistema de Bombeo - TRUE - detected at 2020-11-03 04:40:04.061 AM (UTC)											
Condition:	AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL is less than or equal to 10											
Value:	<table border="1"><thead><tr><th>Tag</th><th>Operator</th><th>Value</th><th>Last Values Received</th></tr></thead><tbody><tr><td>AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL</td><td>is less than or equal to</td><td>10</td><td>35,35,35,35,35,35,35,0</td></tr></tbody></table>	Tag	Operator	Value	Last Values Received	AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL	is less than or equal to	10	35,35,35,35,35,35,35,0			
Tag	Operator	Value	Last Values Received									
AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL	is less than or equal to	10	35,35,35,35,35,35,35,0									
Insight solution:	Proyecto Hospital											
Owner of alert:	juan.vargas@electrobeyco.com											
Consequence of failure:	<table border="1"><thead><tr><th>Consequence</th><th>Applicable</th></tr></thead><tbody><tr><td>Safety</td><td>Not Analyzed</td></tr><tr><td>Environmental</td><td>Not Analyzed</td></tr><tr><td>Production</td><td>Not Analyzed</td></tr></tbody></table>	Consequence	Applicable	Safety	Not Analyzed	Environmental	Not Analyzed	Production	Not Analyzed			
Consequence	Applicable											
Safety	Not Analyzed											
Environmental	Not Analyzed											
Production	Not Analyzed											

[See this alert and related data in a chart.](#)

More options:

- [Go to Alerts page](#) (View and edit alerts)
- [Go to Profile page](#) (Disable email alerts)

Best regards,

The AVEVA Team

Figura 37. Correo enviado cuando una alarma se activa en el sistema de recolección y manejo de datos.

Fuente: elaboración propia.

Hello,

AVEVA Insight detected a condition violation:

Alert from condition:	Presión Baja Sistema de Bombeo - TRUE - detected at 2020-11-03 04:40:04.061 AM (UTC)											
Condition:	AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL is less than or equal to 10											
Value:	<table border="1"><thead><tr><th>Tag</th><th>Operator</th><th>Value</th><th>Last Values Received</th></tr></thead><tbody><tr><td>AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL</td><td>is less than or equal to</td><td>10</td><td>35,35,35,35,35,35,35,0</td></tr></tbody></table>	Tag	Operator	Value	Last Values Received	AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL	is less than or equal to	10	35,35,35,35,35,35,35,0			
Tag	Operator	Value	Last Values Received									
AvevaInsight.Bombeo.PRESION_ACTUAL	is less than or equal to	10	35,35,35,35,35,35,35,0									
Insight solution:	Proyecto Hospital											
Owner of alert:	juan.vargas@electrobeyco.com											
Consequence of failure:	<table border="1"><thead><tr><th>Consequence</th><th>Applicable</th></tr></thead><tbody><tr><td>Safety</td><td>Not Analyzed</td></tr><tr><td>Environmental</td><td>Not Analyzed</td></tr><tr><td>Production</td><td>Not Analyzed</td></tr></tbody></table>	Consequence	Applicable	Safety	Not Analyzed	Environmental	Not Analyzed	Production	Not Analyzed			
Consequence	Applicable											
Safety	Not Analyzed											
Environmental	Not Analyzed											
Production	Not Analyzed											

[See this alert and related data in a chart.](#)

More options:

- [Go to Alerts page](#) (View and edit alerts)
- [Go to Profile page](#) (Disable email alerts)

Best regards,

The AVEVA Team

Figura 38. Correo enviado cuando una alarma se normaliza en el sistema de recolección y manejo de datos.

Fuente: elaboración propia.

4.3.4 Materiales necesarios

Para esta solución es necesario adquirir la licencia estándar del AVEVA *Insight*, que tiene las siguientes características:

- Permite tener 2 usuarios.

- Puede trabajar con 25 000 puntos de datos.
- La velocidad máxima sincronización de los datos es de 5 segundos.
- Histórico de datos accesible de 1 a 5 años.

Estas especificaciones cumplen con los requerimientos datos en la tabla 5 sobre el periodo de almacenamiento y la velocidad de sincronización de los datos. Los usuarios que van a tener la aplicación son el ingeniero encargado del mantenimiento del hospital y el operario de turno, por lo tanto, se tienen los usuarios necesarios.

Es importante mencionar que la PC industrial en donde se encuentra instalado el *In Touch Edge* debe tener conexión a internet, ya sea en la misma red que se tiene para comunicar con PLC del sistema de bombeo por el puerto Ethernet o mediante una red WiFi externa. Esto para que los datos se suban y se actualicen en la nube.

4.4 Sistema para visualizar información en campo del panel de bombeo

La herramienta utilizada para brindar información en campo a los operadores y encargados de mantenimiento es un sistema de realidad aumentada (*Augmented Operator Advisor*) que identifica los distintos equipos que pertenecen al sistema de bombeo y brinda información para apoyar en los trabajos preventivos y en la atención de algún fallo o avería.

Para la creación y ejecución del programa *Augmented Operator Advisor* utiliza los siguientes componentes:

- *Augmented Operator Advisor Builder*, una aplicación basada en la web. Es donde se crean los proyectos.
- *Augmented Operator Advisor Runtime*, un software Windows basado en servidor. Se instala en la PC industrial que va a estar ejecutando el programa y que tiene comunicación con el controlador (se utiliza el mismo cable Ethernet que comunica a la PC con el PLC en el sistema de control centralizado).

- *Augmented Operator Advisor App*, una aplicación que se ejecuta en una tableta o celular inteligente. Visualiza la realidad, es decir, lo que ve el operador con la cámara integrada en la tableta o celular y lo compara con las fotografías de escenas almacenadas en el proyecto.

El proyecto que se crea en el *Augmented Operator Advisor Builder* se debe compilar y luego cargarlo en el dispositivo en el que *Augmented Operator Advisor Runtime* está instalado. Para que *Augmented Operator Advisor App* se pueda comunicar con el componente *Augmented Operator Advisor Runtime*, es necesario que ambos estén conectados a una misma red WiFi. Por último, para visualizar los valores de las variables del sistema de bombeo en tiempo real se debe instalar *Node-Red* en el dispositivo que ejecuta el programa, además, se debe crear un programa en esta aplicación que enlace los datos del PLC con *Augmented Operator Advisor Runtime*.

La elaboración y el desarrollo de la aplicación se puede dividir en dos secciones principales:

- Elaboración de las escenas de trabajo.
- Elaboración de los procedimientos.

4.4.1 Escenas

Las escenas se construyen a partir de imágenes del mismo sistema de bombeo. Estas imágenes son las que se quiere que el sistema identifique una vez que se está usando la aplicación para poder superponer sobre estas los nombres de los equipos, los valores de las señales e incluso poder acceder a diagramas de conexión o manuales de usuario. Las imágenes a las que se superpone información provienen de la cámara del celular o tableta.

Las escenas que se crearon en el programa son las siguientes:

- Panel Principal
- Bombas
- Sensor de Cloro
- Sensores de Flujo

Las variables que se extraen del PLC para mostrarlas en el sistema se tomaron de la tabla 9 y se muestran en la tabla 17. Se seleccionaron estas variables,

porque la función general del sistema es brindar información del estado de los equipos y ayudar a los operarios a identificar las fallas en campo para encontrar posibles soluciones, por lo tanto, son necesarias las señales que brindan información del estado de los equipos (por ejemplo, las señales de marcha, paro o falla) o dan el valor de medición de las diferentes señales del sistema (por ejemplo, las mediciones de corriente, frecuencia, nivel de tanques, flujos de salida o presión).

Tabla 17. Señales de extraídas del PLC para usarse en el sistema de realidad aumentada.

Fuente: elaboración propia.

Nombre de las señales	
Fallo módulo analógico	Medición pH
Fallo sensor de nivel 1	Confirmación B1
Fallo sensor de nivel 2	Corriente B1
Fallo supresor de tensión 1	Fallo B1
Fallo supresor de tensión 2	Confirmación B2
Fallo UPS 1	Corriente B2
Fallo UPS 2	Fallo B2
Medición Cloro	Confirmación B3
Frecuencia de salida bombas	Corriente B3
Presión actual	Fallo B3
Flujómetro lavandería	Confirmación B4
Flujómetro hospital	Corriente B4
Nivel de tanque 1	Fallo B4
Nivel de tanque 2	

El sistema permite visualizar e identificar cuando alguna de las variables de la tabla 17 se sale de los rangos estipulados en la tabla 10 o cuando alguna de las variables de fallo se activa, lo que permite al operario identificar el equipo que están en fallo.

También, es posible dejar notas o comentarios sobre las escenas para que puedan ser vistos luego por cualquier operario o persona que vuelva a ingresar a la

escena correspondiente o se pueden ver a detalle ingresando directamente en el *Augmented Operator Advisor Runtime*.

4.4.1.1 Escena Panel Principal

Esta escena permite identificar el panel de control de las bombas cuando está cerrado y superponer una subescena con una imagen del panel con las puertas abiertas, y de esta forma se observan todos los equipos se encuentran dentro sin necesidad de abrirlo, tal como se muestra en la figura 39.

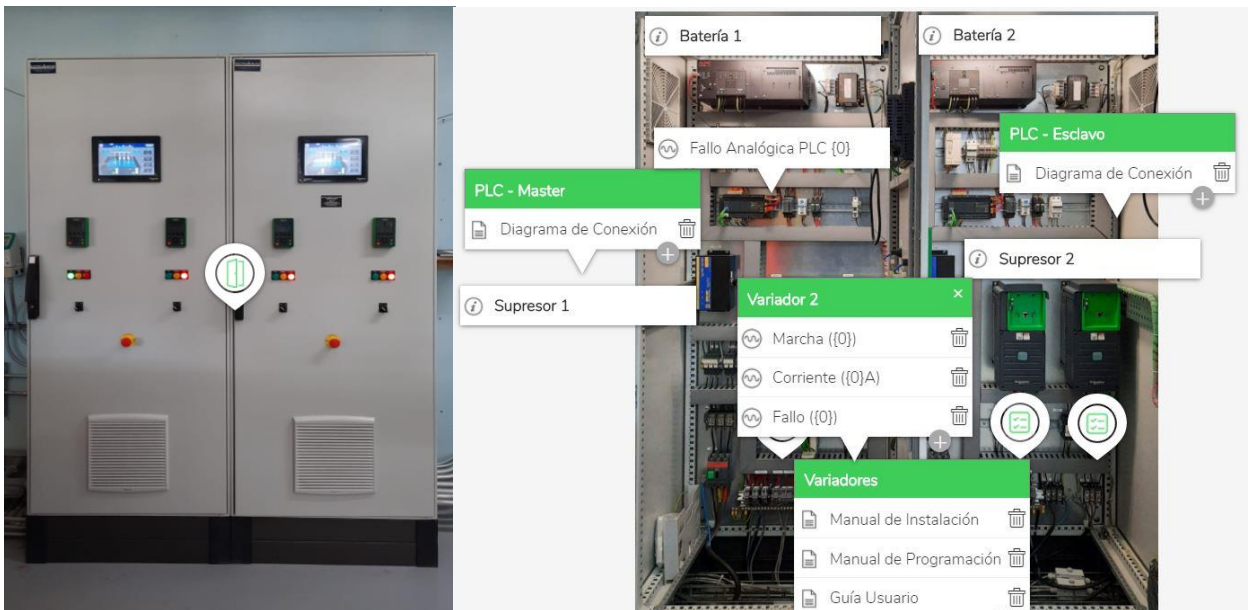


Figura 39. Escena y subescena del panel de control de las bombas visto desde el frente.

Fuente: elaboración propia.

En esta escena se nombran los equipos más importantes del panel, se puede ver el estado de las 4 bombas (marcha, corriente y fallo). Igualmente, es posible acceder a los diagramas de conexión de los PLC y para el variador se puede ver el manual de instalación, el manual de programación y la guía de usuario del fabricante.

El manual de instalación del variador brinda información de las condiciones en que se debe mantener el variador, la forma en que se debe cablear, el significado de las terminales de control y mucho más. El manual de programación muestra el significado de los diferentes parámetros que muestra en variador en el monitor, además, tiene guías que permiten hacer cambios en la configuración del variador.

La guía de usuario muestra las principales partes del variador y menciona cuales deben ser los parámetros que deben estar configurados en el variador para el arranque.

Las variables que se pueden ver en esta escena son las siguientes:

- Fallo módulo analógico
- Fallo supresor de tensión 1 y 2
- Fallo UPS 1 y 2
- Confirmación, corriente y fallo de B1, B2, B3 y B4

El sistema también permite identificar el panel de control de las bombas desde diferentes ángulos, tal y como se observa la figura 40.



Figura 40. Escena y subescena del panel de control de las bombas visto desde los costados.

Fuente: elaboración propia.

4.4.1.2 Escena Bombas

En esta escena es posible identificar las bombas y las tuberías de salida de los tanques y superponer sobre estas los valores correspondientes a las mediciones que realizan y al estado de las bombas. También, es posible identificar la escena desde diferentes puntos como se muestra en la figura 41.

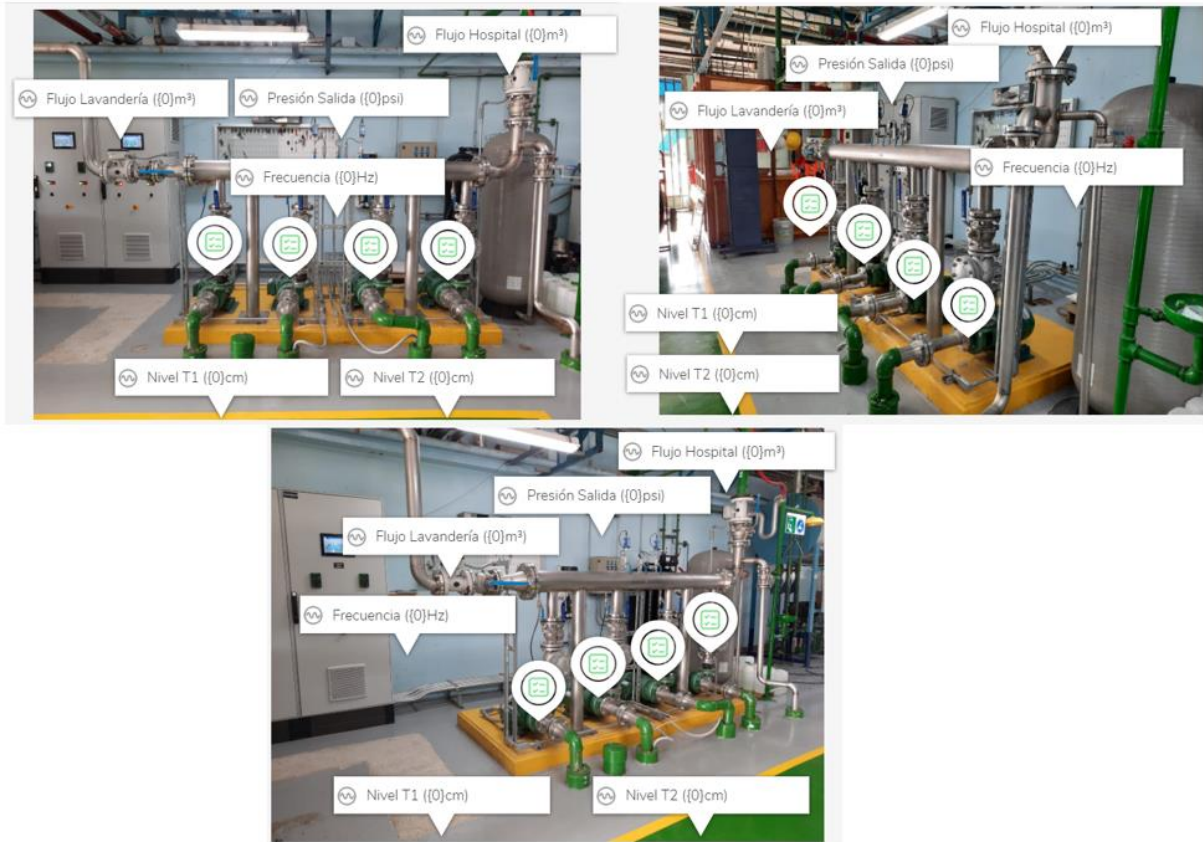


Figura 41. Escena de las bombas desde diferentes puntos de observación.

Fuente: elaboración propia.

Las variables que muestra y utiliza el sistema en esta escena son las siguientes:

- Fallo sensor de nivel 1 y 2
- Frecuencia de salida bombas
- Presión actual
- Flujómetro lavandería
- Flujómetro Hospital
- Marcha B1, B2, B3 y B4

- Corriente B1, B2, B3 y B4
- Fallo B1, B2, B3 y B4

4.4.1.3 Escena Sensor de Cloro

Esta escena identifica la ubicación del sensor de cloro y permite observar el valor del nivel de cloro y pH en el agua. Para ello utiliza las variables correspondientes a estos valores. En la figura 42 se puede observar cómo se visualiza esta escena.



Figura 42. Escena del sensor de cloro desde diferentes puntos de observación.

Fuente: elaboración propia.

4.4.1.4 Escena Sensores de Flujo

La última escena es la de los sensores de flujo, que permite identificar los flujómetros y ver el valor medido del flujo de la lavandería y del hospital, usando las

variables correspondientes. En la figura 43 se observa esta escena vista desde diferentes puntos.



Figura 43. Escena de los sensores de flujo desde diferentes puntos de observación.

Fuente: elaboración propia.

4.4.2 Procedimientos

Los procedimientos son guías paso a paso que se utilizan para realizar algún tipo de mantenimiento o para atención de fallas específicas en el sistema de bombeo. En cada uno de los pasos el programa le dice al operador que debe hacer y en ocasiones asocia escenas a alguno de los pasos para detallar de mejor forma alguna acción.

Desde el *Augmented Operator Advisor Runtime* es posible observar la fecha y hora de cuando se ejecuta un procedimiento y también es posible determinar el tiempo que se dura en ejecutarlo completamente.

En total el sistema cuenta con los siguientes procedimientos:

- Conectar PC externa con PLC.
- Limpieza general del panel.

- Restablecer fallos de variador.
- Fallo de la bomba de pozo.

4.4.2.1 Conectar PC externa con el PLC

Este procedimiento guía al usuario para que pueda iniciar sesión con el PLC desde una PC externa, es decir, desde una PC que no es la que está conectada en con el sistema de bombeo.

El procedimiento brinda los pasos necesarios para conectar la PC de las dos diferentes maneras posibles: usando un cable mini USB para conectarse directamente al PLC o por medio de un cable Ethernet para conectarse por red.

En la figura 44 se muestra el esquema seguido por el procedimiento y en la tabla 18 se describe cada uno de los pasos que se muestran en esta figura.

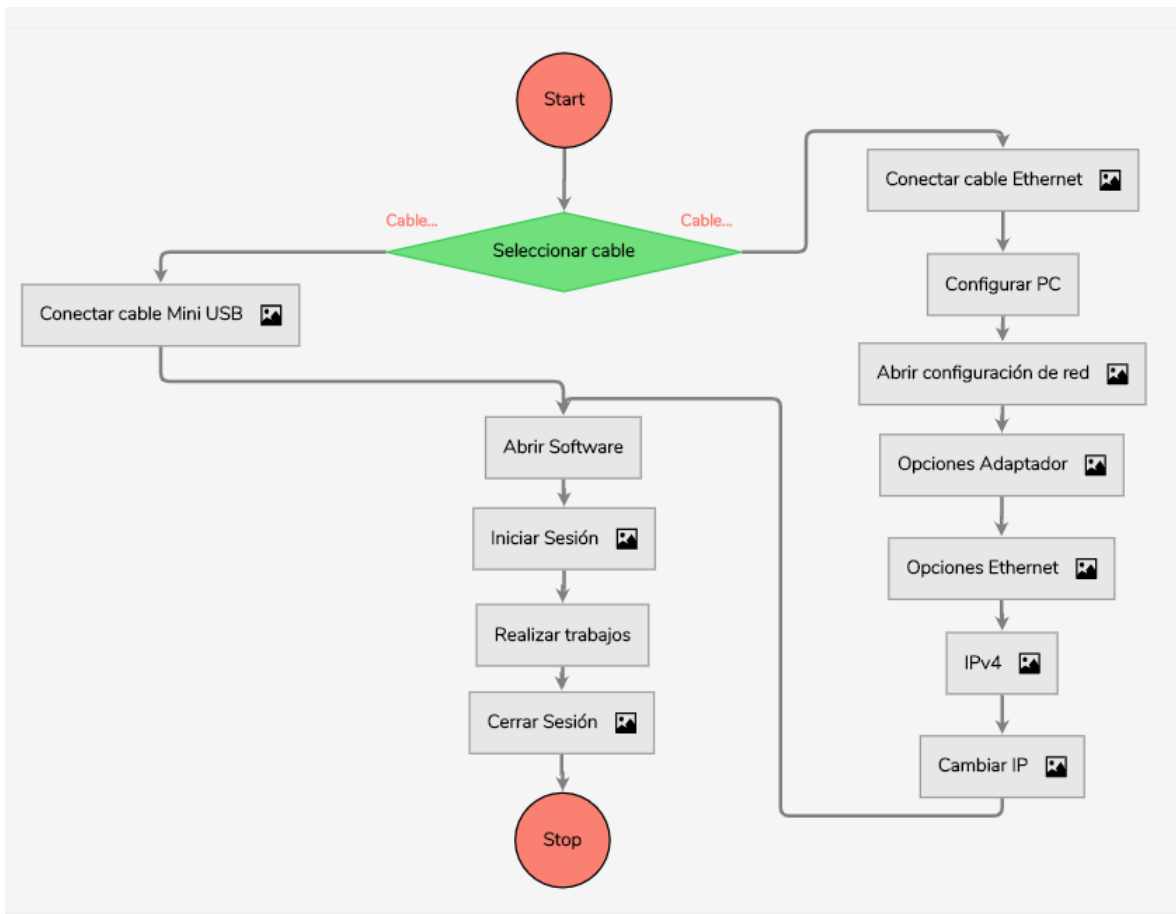


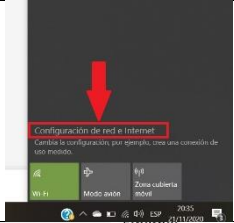

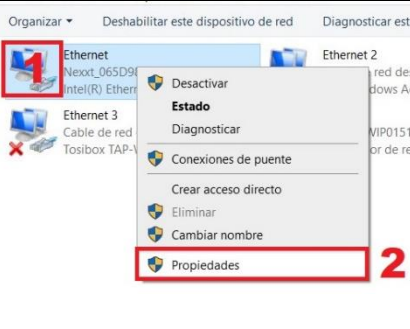


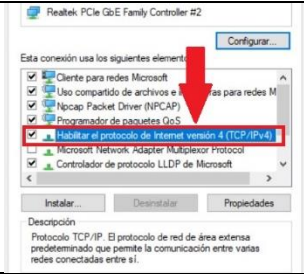
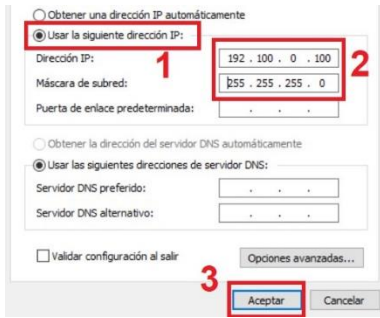
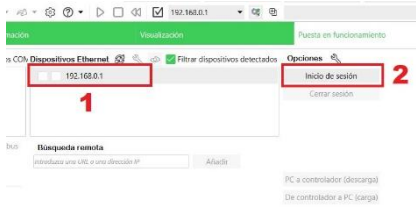

Figura 44. Esquema del procedimiento para conectar una PC al PLC.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Descripción del procedimiento para conectar una PC al PLC.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento	Descripción	Escena Asociada
1. Seleccionar cable	Opción de selección múltiple: <ul style="list-style-type: none"> • Cable mini USB • Cable ethernet 	
1.1. Conectar cable mini USB	Conectar el cable en el puerto indicado.	
1.2. Conectar cable ethernet	Conectar cable ethernet en el <i>switch</i> en uno de los puertos libres.	
1.2.1. Configurar PC	Cambiar la IP de la PC a una dirección fija, los pasos a seguir se describen a continuación...	
1.2.2. Abrir configuración de red	Abrir configuración de red e Internet en la PC.	
1.2.3. Opciones del adaptador	En la pestaña de "Ethernet" abrir: "Cambiar opciones del adaptador".	
1.2.4. Opciones Ethernet	Clic derecho sobre la conexión Ethernet habilitada y seleccionar "Propiedades".	

<p>1.2.5. IPv4</p>	<p>Doble clic sobre el "Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)".</p>	
<p>1.2.6. Cambiar IP</p>	<p>1. Seleccionar la opción de: "Usar la siguiente dirección IP" 2. Colocar la siguiente IP: "192.168.0.100" Colocar la siguiente máscara de subred: 255.255.255.0 3. Dejar el resto igual a como esta y hacer clic en "Aceptar".</p>	
<p>2. Abrir Software</p>	<p>Abrir el software Machine Expert Basic.</p>	
<p>3. Iniciar Sesión</p>	<p>1. Seleccionar IP del PLC correspondiente: PLC Máster=192.168.0.1 PLC Esclavo=192.168.0.2 1. Iniciar Sesión para conexión en línea con PLC.</p>	
<p>4. Realizar trabajos</p>	<p>Proceso de Inicio de Sesión con PLC finalizado, es posible realizar cambios en el sistema o monitorear cualquier señal.</p>	
<p>5. Cerrar Sesión</p>	<p>Antes de cerrar la sesión con el PLC verifique que el controlador este inicializado.</p>	

4.4.2.2 Mantenimiento general del panel

Este procedimiento consiste en dar una guía paso a paso con todas las acciones que debe realizar el operador para para hacer un mantenimiento preventivo del panel. En la figura 45 se muestra los pasos que sigue el procedimiento y en la tabla 19 es posible ver la descripción de cada uno de los pasos.

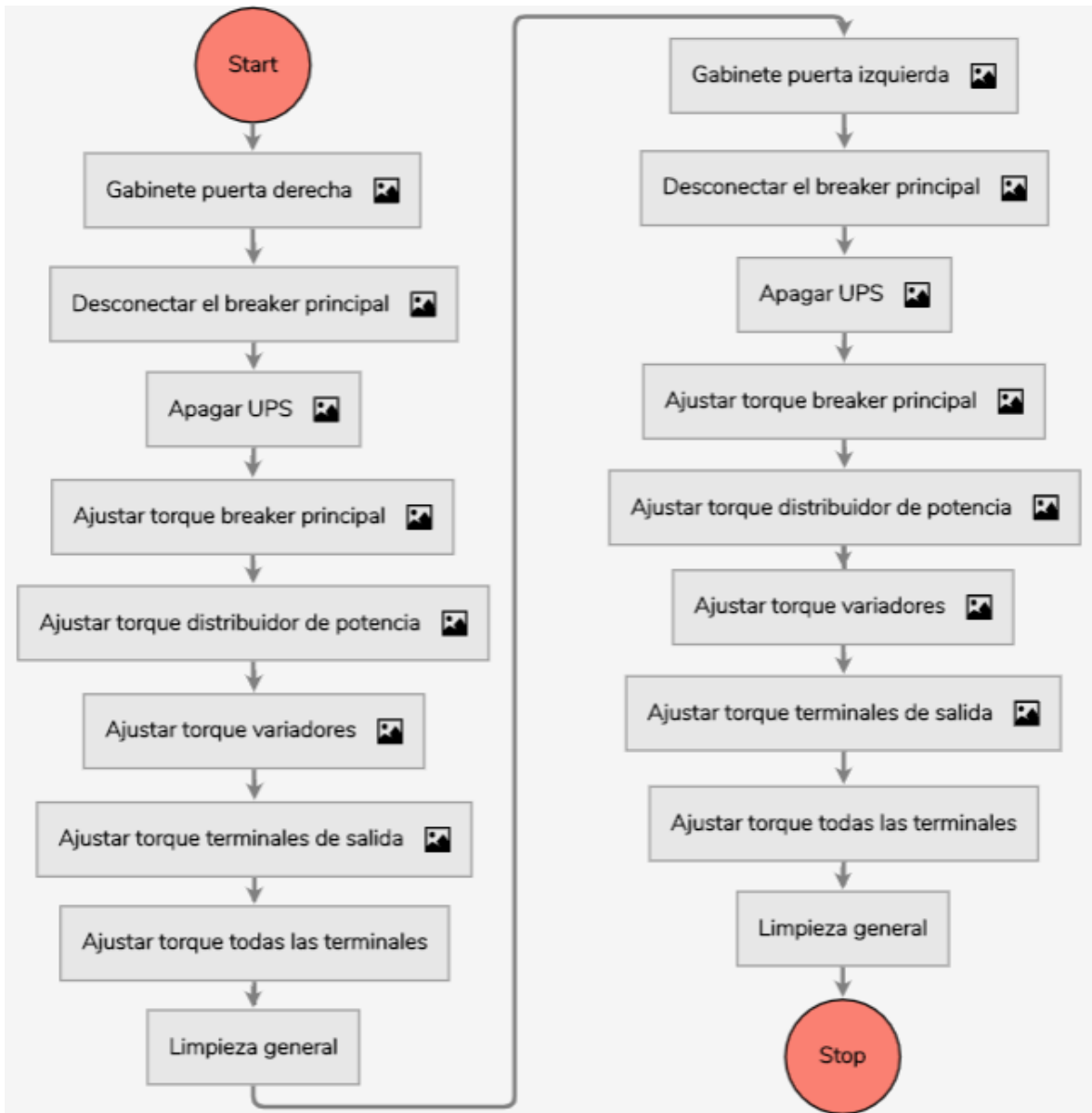

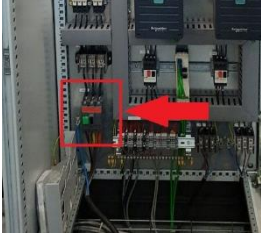






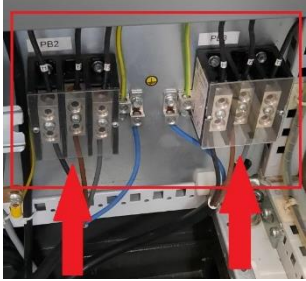
Figura 45. Esquema del procedimiento para limpieza general del panel.


Fuente: elaboración propia.

Tabla 19. Descripción del procedimiento para limpieza general del panel.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento	Descripción	Escena Asociada
1. Gabinete puerta derecha	Colocar en manual las bombas 1 y 2 y apagar las bombas 3 y 4, para dar mantenimiento a los equipos de la puerta derecha.	 Una fotografía de un panel de control industrial con cuatro interruptores de bombas etiquetados como B1, B2, B3 y B4. Los interruptores B1 y B2 están en posición manual, mientras que B3 y B4 están apagados.
1.1. Desconectar el breaker principal	Desconectar breaker para desenergizar los equipos de potencia de la parte derecha del panel.	 Una fotografía del interior del panel que muestra un breaker principal. Una línea roja rectangular resalta el breaker, y una flecha roja apunta hacia él desde la derecha.
1.2. Apagar UPS	Apagar la UPS para desenergizar los circuitos de control de la parte derecha del panel.	 Una fotografía del interior del panel que muestra un módulo de UPS. Una línea roja rectangular resalta el módulo, y una flecha roja apunta hacia él desde abajo.
1.3. Ajustar torque breaker principal	Verificar y ajustar el torque al breaker principal a 10Nm	 Una fotografía detallada del breaker principal que muestra un dispositivo de ajuste de torque. Una línea roja rectangular resalta el dispositivo, y una flecha roja apunta hacia él desde abajo.

<p>1.4. Ajustar torque distribuidor de potencia</p>	<p>Ajustar y verificar el torque del distribuidor de potencia de entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrada: 14Nm • Salidas: 4Nm 	
<p>1.5. Ajustar torque variadores</p>	<p>1. Retirar los cuatro tornillos que se muestran en la imagen para sacar la tapa.</p> <p>2. Ajustar y verificar torque de entrada y salida de los variadores correspondientes de trabajo a 1.5Nm</p>	
<p>1.6. Ajustar torque de terminales de salida</p>	<p>Ajustar y verificar el torque de las terminales de salida de alimentación de las bombas correspondientes a 4Nm</p>	
<p>1.7. Ajustar torque todas las terminales</p>	<p>Ajustar el torque de todas las demás terminales de conexión de los equipos que se encuentran desenergizados.</p>	
<p>1.8. Limpieza general</p>	<p>Limpie todos los componentes desenergizados de la siguiente manera:</p> <p>1- Quite el filtro de los ventiladores y sacúdalo lejos de los gabinetes</p>	

	<p>2- Remueva el polvo de los equipos y el gabinete usando una brocha</p> <p>3. Limpie los equipos usando trapo húmedo</p>	
2. Gabinete izquierda	<p>Colocar en manual las bombas 3 y 4 y apagar las bombas 1 y 2, para dar mantenimiento a los equipos de la puerta izquierda</p>	
<p>Se repiten los pasos del 1.1 al 1.8 pero realizando el trabajo del lado izquierdo del panel.</p>		

4.4.2.3 Restablecer fallos de variador

Este procedimiento sirve como guía cuando uno de los variadores presenta un fallo. El procedimiento permite acceder a un documento donde se observan el significado de los códigos de fallo que muestra en PLC en el monitor y además muestra posibles soluciones para cada uno de los fallos, este documento es propio de los variadores y lo brinda el fabricante. Igualmente, brinda una guía paso a paso para restablecer un fallo desde el monitor del variador. En la figura 46 se observa el esquema seguido por el procedimiento y en la tabla 20 se describe cada uno de los pasos.

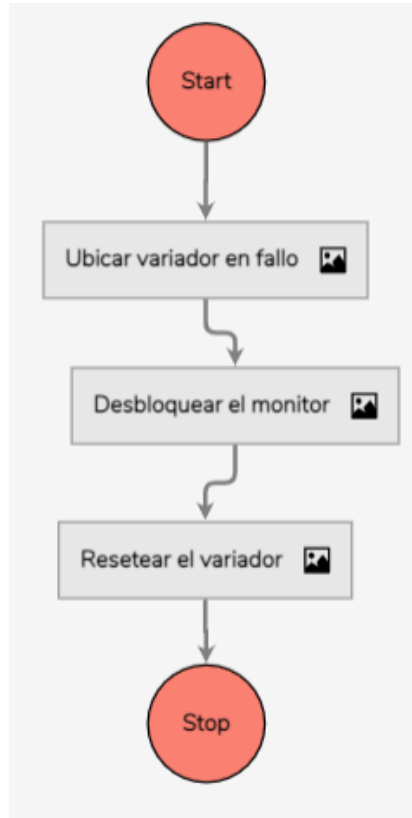




Figura 46. Esquema del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Descripción del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento	Descripción	Escena Asociada
1. Ubicar variador en fallo	Determinar cuál variador está en fallo y ubicar su respectivo monitor en puerta.	

<p>2. Desbloquear el monitor</p>	<p>Presione las teclas ESC-HOME al mismo tiempo para desbloquear el monitor</p>	
<p>3. Reiniciar el variador</p>	<p>Dejar presiona el botón de STOP-RESET durante 5 segundos para reestablecer el variador</p>	

4.4.2.4 Fallo panel bomba de pozo

Este último procedimiento permite al operador tener una guía para cuando la bomba de pozo, que es la encargada de llenar los tanques de los cuáles las 4 bombas del sistema de bombeo envían agua a todo el hospital, presenta una falla o avería. Lo que permite esta guía es habilitar el suministro de agua del acueducto municipal para evitar dejar sin agua al hospital. En la figura 47 se muestran los pasos que se deben seguir en el procedimiento y en la tabla 21 se describe cada uno de estos.

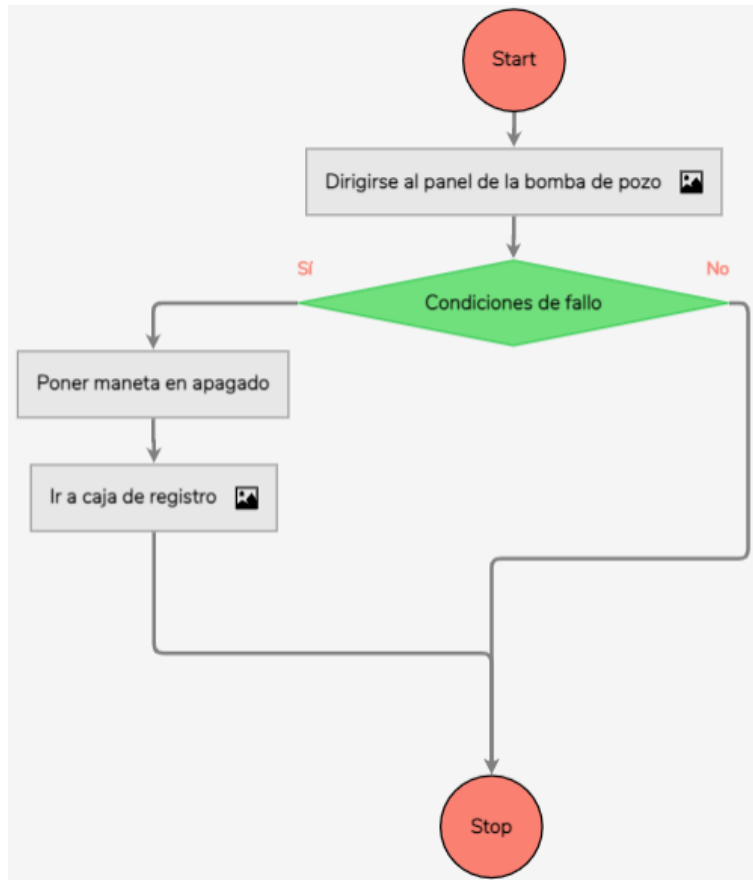




Figura 47. Esquema del procedimiento para ejecutar ante fallo de la bomba de pozo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Descripción del procedimiento para restablecer fallos de los variadores.

Fuente: elaboración propia.

Procedimiento	Descripción	Escena Asociada
1. Dirigirse al panel de la bomba de pozo	1. Colocar la maneta en posición de apagado. 2. Presionar el botón de rearme para reiniciar el controlador de la bomba. 3. Volver la maneta a la posición de AUTO	

3. Condiciones de fallo	¿Continúa el fallo de la bomba? <ul style="list-style-type: none"> • Sí • No 	
4. Poner maneta en apagado	Colocar nuevamente la maneta del panel en posición de apagado	
5. Ir a caja de registro	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dirigirse a la caja de registro donde está la llave de la Municipalidad. 2. Levantar la tapa. 3. Abrir llave. 	

4.4.3 Node-Red

El programa que se crea en *Node-Red* debe conectarse con el PLC a través de comunicación Modbus para obtener el valor de las variables del sistema en tiempo real y posteriormente se deben enviar esos valores al *Augmented Operator Advisor Runtime*. De esta manera, es posible visualizar los datos desde *Augmented Operator Advisor App*.

La forma en que la aplicación de *Node-Red* se comunica con el PLC es por medio de un nodo de red Modbus. Este nodo permite extraer las variables a través de comunicación Modbus directamente desde el PLC, usando el mismo cable de red que se muestra en la figura 21, y las envía al *Augmented Operator Advisor Runtime* con la ayuda de otro nodo especial que se enlaza directamente con la aplicación.

4.4.4 Materiales necesarios

En este caso los materiales necesarios para implementar el programa son los siguientes:

- Licencia de *Augmented Operator Advisor Runtime*.
- PC industrial que soporte la aplicación de *Augmented Operator Advisor Runtime*.
- Conexión inalámbrica entre PC y celular o tableta donde se utiliza el programa.

Los requisitos que debe tener la PC industrial para poder ejecutar el software de *Augmented Operator Advisor Runtime* son los siguientes:

- Sistema operativo Windows: 7 o 10.
- Memoria de almacenamiento mínima: 0.6 GB.
- Memoria RAM mínima necesaria: 2GB.
- Resolución de pantalla de 320x240 mínimo.

Como la comunicación entre la PC y el PLC del sistema de bombeo se realiza a través de un *switch* Ethernet se debe conectar en este mismo equipo un *router* para que genere una red WiFi que permita la comunicación inalámbrica entre la PC y el teléfono o tableta.

4.5 Selección de la PC industrial

En las secciones anteriores se han descrito los materiales necesarios para la implementación de cada una de las soluciones, únicamente, hace falta definir el modelo de específico de la PC industrial que se debe utilizar. Esta PC va a estar ejecutando las tres soluciones, por lo tanto, debe cumplir con los requisitos que se mencionan en las secciones 4.2.4, 4.3.4 y 4.4.4. En general los requisitos que debe tener la PC son los siguientes:

- 1 puerto Ethernet para cable RJ45
- 1 puerto para comunicación serial.
- Almacenamiento mínimo de 1.6 GB.
- Memoria RAM mínimo de 2GB.
- Resolución de pantalla mínimo de 1024x768.

Para seleccionar la PC correspondiente, se analizaron los diferentes modelos de PC industrial que la empresa Electro Beyco tiene a la venta y se decidió utilizar

una *In Touch Panel PC* en el modelo HMI-TCND0U-15AC-X00H, la cual tiene las siguientes características:

- 2 puertos Ethernet TCP/IP – RJ45.
- 1 puerto serie - RS485.
- Memoria disco duro de 4 GB.
- SDRAM de 8 GB.

Por lo tanto, se comprueba que se cumplen todos los requisitos necesarios para la instalación y ejecución de los softwares.

5 Validación

Como se ha mencionado en secciones anteriores, el proyecto es fundamentalmente un proyecto de diseño que busca crear una solución y demostrar que sirve para resolver el problema planteado en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos. La implementación de este proyecto queda para una fase posterior, donde la empresa Electro Beyco va a ser la integradora.

Por consiguiente, las pruebas de validación realizadas no se hicieron con todos los equipos seleccionados para la solución final, pero se utilizaron equipos alternativos que cumplen la misma función. No se contaba con los siguientes equipos y materiales:

- PC industrial.
- *Router* para generar la conexión inalámbrica entre la PC y el celular o tableta.
- Cables que comunican el sistema de bombeo y la caldera con el cuarto del operador.
- Red de conexión estable a internet en la casa de máquinas.

La PC industrial se sustituyó por una PC convencional, la cual tiene puerto Ethernet RJ45 y puerto serial USB, por lo tanto, en este caso fue necesario utilizar un convertidor serial de RJ45 a USB.

En cuanto a las licencias de los programas, la PC utilizada pertenecía a la empresa, por lo tanto, contaba con las licencias propias de *In touch Edge* y *Augmented Operator Advisor Builder* y *Augmented Operator Advisor Runtime*. En cuanto a la licencia de *AVEVA Insight*, la licencia que se adquiere sirve tanto para el desarrollo como para la visualización de los datos y como el proyecto aún no se va a desarrollar no es posible contar con la licencia estándar todavía, entonces, se usó la licencia de prueba para las validaciones, la cual tiene las siguientes características:

- Permite tener 2 usuarios.
- Puede trabajar con 1000 puntos de datos.
- La velocidad máxima sincronización de los datos es de 60 segundos.
- Histórico de datos accesible de 45 días.

Como lo que quiere es demostrar la operabilidad y el cumplimiento de requerimientos, usando la licencia de prueba del AVEVA lo único que puede generar un inconveniente con los resultados es el tiempo de sincronización máximo.

Para la conexión WiFi y la red de conexión a internet, se decidió utilizar una conexión mediante dispositivo móvil, compartiendo una conexión WiFi desde un teléfono celular a la PC. Esta conexión brinda acceso a internet, ya que, comparte los datos móviles. Los cables que conectan el sistema de bombeo y la caldera con la PC se colocaron directamente desde la PC hasta los equipos. Es importante mencionar que las pruebas se hacen con los equipos funcionando, ya que, de ninguna manera se pueden detener los procesos del hospital.

Se hicieron tres pruebas para conocer el tiempo que duran actualizándose los datos en algunas de las aplicaciones con respecto a los cambios en los equipos reales. Por lo tanto, para definir la cantidad de mediciones que se debían realizar fue necesario tomar una cantidad de datos que representen la muestra inicial, luego a estos se le debía sacar la desviación estándar para determinar la estabilidad de los datos.

Dado que las mediciones se realizan de manera manual se debe definir una desviación estándar acorde con la forma en que se realiza la medición, por lo tanto, se definió que la desviación estándar debía ser menor de 0,5s, asegurando que fuera un valor alcanzable con el tipo de medición que se realiza.

A continuación, se describe el procedimiento a seguir para realizar las mediciones:

- **Paso 1:** tomar una muestra inicial de 10 valores.
- **Paso 2:** calcular la desviación estándar usando la fórmula que se muestra en la figura 48.
- **Paso 3:** si el valor de la desviación estándar está por encima de 0.5s, repetir el paso 2 pero tomando 5 datos más y realizar esto hasta que se obtenga el valor de desviación estándar esperado.

$$DE = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}}$$

Figura 48. Fórmula de la desviación estándar.

Fuente: [32].

A continuación, se describen las pruebas de validación realizadas y los resultados obtenidos en cada una de estas. En el anexo 3 se encuentra el enlace de un vídeo que muestra todos los programas operando y conectados directamente con el sistema de bombeo y la caldera, el cuál sirve como referencia para las validaciones que se van a describir.

5.1 Pruebas de validación para el sistema de control centralizado

Para validar el cumplimiento de los requerimientos 1, 2 y 3 de la tabla 3 se utiliza el vídeo de pruebas de validación que se encuentra en el anexo 3, específicamente, en el lapso de 00:15 hasta 03:00. Allí se demuestra que el sistema permite monitorear y controlar el sistema de bombeo y la caldera desde una PC industrial ubicada en el cuarto del operador. En la PC industrial se muestra el estado operacional de las 4 bombas, del quemador de la caldera y de la caldera en general. También, se observan los valores de las mediciones realizadas por los distintos sensores y equipos que tiene cada sistema. Además, muestra la pantalla de configuración, la cual permite cambiar los parámetros del PID, la presión de salida deseada y los valores frecuencia para el encendido y apagado de las bombas.

Para el requerimiento 4, 5 y 7 de la tabla 3 que especifica que es necesario que el sistema genere una alerta en tiempo real cuando un equipo falla o se encuentra por fuera de los límites de funcionamiento mostrando el respectivo mensaje que indica cual equipo es el que fallo y se muestre el estado del fallo, la prueba que se realizó para validar esto se muestra en el vídeo a partir de 03:00 hasta 03:12. En este caso solo fue posible activar una señal de fallo en el sistema de bombeo, porque, ambos equipos en el momento de las pruebas se encontraban funcionando y todas las alertas por programación de los controladores deshabilitan

algunas funciones de los equipos, excepto las señales de fallo de los supresores que únicamente generan la alerta y no interrumpe ningún funcionamiento.

Como ya se comprobó que el sistema está leyendo los datos correctamente y genera alertas que se han configurado previamente, se puede afirmar que las demás señales de fallo se van a activar cuando el dato leído corresponda con lo que se estableció en la programación de las alertas.

El sistema muestra y almacena el histórico de fallos en la PC, ya que, los guarda en una carpeta específica dentro de la memoria interna. Los datos se guardan para cada estado de la alerta, es decir, se guardan cuando se activa, cuando se reconoce y cuando se desactiva; esto se puede observar en el vídeo en el instante 03:07. Los datos que se guardan son los siguientes:

- Tiempo de activación, reconocimiento o desactivación de la alerta.
- Nombre de la variable interna que produjo la alerta.
- Mensaje respectivo para la alerta.
- Estado (activa, reconocida o desactiva).

Para conocer la cantidad de memoria que consume cada fallo, se ejecutó el programa en modo simulación y se fueron forzando diferentes variables, una a la vez, de forma tal que se produjeran alertas. Una vez la alerta se había activado, reconocido y desactivado, es decir cuando ya se habían almacenado los tres estados de la alerta en la memoria se procedía a medir el espacio que ocupó esa señal.

El espacio en memoria ocupado por cada fallo va a depender de la longitud del mensaje y del nombre de la variable, por lo tanto, debido a la poca variabilidad de las alarmas se decidió tomar una muestra de 20 variables para encontrar una media representativa que sirva como parámetro para calcular el espacio en memoria necesario para almacenar el histórico de fallos de un año. El resultado de las mediciones se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Mediciones para conocer el espacio en memoria ocupado por las variables de alerta.

Fuente: elaboración propia.

Variable	Mensaje	Espacio en Memoria (KB kilo bytes)
FALLO_ANALOGICA	Fallo en Módulo Analógico PLC 1	1.21
FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	1.23
FALLO_TVSS_2	Fallo en Supresor 2	1.1
FALLO_UPS_2	Fallo de UPS 2	1.06
FRECUENCIA_ACTUAL	Frecuencia Alta en los Motores	1.19
FRECUENCIA_ACTUAL	Frecuencia Baja en los Motores	1.21
PRESION_ACTUAL	Presión Baja en la Tubería	1.15
CORRIENTE_B1	Corriente Alta en Bomba 1	1.14
FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	1.01
CORRIENTE_B2	Corriente Alta en Bomba 2	1.17
FALLO_B2	Fallo de Bomba 2	1.03
NIVEL_TANQUE_1	Nivel Alto en Tanque 1	1.1
NIVEL_TANQUE_2	Nivel Bajo en Tanque 2	1.2
COLORO	Nivel Alto de Cloro en el Agua	1.1
PH_COLORO	Nivel Bajo de pH en el Agua	1.1
Número_Error_Activo	Fallo de la Caldera e{Número_Error }	1.18
Presión_Vapor_Caldera	Presión de Vapor Alta en la Caldera	1.22
Servo_Gas	Posición del Servo de Gas Elevada	1.2
Servo_Aire	Posición del Servo de Aire Elevada	1.2
Temperatura_Caldera	Temperatura Caldera Elevada	1.22
Dato promedio:		1.15

Teniendo una media representativa de consumo de memoria por cada alerta de 1.15KB. Se decidió hacer otra prueba para determinar si el espacio en memoria es el mismo cada vez que se activa. Se realizó la activación diez veces del fallo del sensor de nivel 1 y se fue midiendo el espacio en memoria ocupado por cada vez que se activaba y el resultado fue el mismo en todas las ocasiones, 1.23 KB, mismo

que se muestra en la tabla 22. En la figura 48 se observa el historial de los fallos del bombeo luego de realizar esta prueba.

HISTORIAL DE ALARMAS DEL SISTEMA DE BOMBEO			
▲ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
✓ 11/29/2020 13:23:05	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:23:05	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:23:05	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:22:38	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:22:38	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:22:38	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:22:10	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:22:10	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:22:10	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:21:43	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:21:43	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:21:43	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:21:17	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:21:17	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:21:17	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:20:19	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:20:19	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:20:19	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:19:48	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:19:48	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:19:48	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK
✓ 11/29/2020 13:19:20	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	ACK_NORM
▲ 11/29/2020 13:19:20	FALLO_SEN_NIVEL_1	Fallo en Sensor de Nivel del Tanque 1	UNACK_NORM

Figura 49. Historial de los fallos de bombeo con la activación del fallo del sensor de nivel.

Fuente: elaboración propia.

Para estimar el espacio en memoria necesario para almacenar todos los fallos de mínimo un año de funcionamiento se debe tomar un estimado de la cantidad de fallos que se producen en ese tiempo, pero esto no es posible porque no existe un historial de funcionamiento de los equipos. Por lo tanto, se va a considerar que cada uno de los 32 fallos en total que tiene el sistema se produzca una vez al día, es decir, que se produzcan 32 fallos diarios durante 365 días, situación que según el ingeniero del hospital es muy poco probable que suceda, y considerando que la media representativa para el consumo en memoria por variables es de 1.15 KB, se tiene lo siguiente:

$$365 \times 32 \times 1.15 \text{ KB} = 0.014 \text{ GB}$$

Entonces, según lo anterior el espacio necesario para almacenar los fallos de un año de funcionamiento sería de aproximadamente 0.014 GB, y de esta forma es posible validar el requerimiento 6 de la tabla 3 que indica que se deben almacenar

los fallos de un año de funcionamiento, porque, la PC seleccionada tiene 2.4GB de almacenamiento libre según lo que se estableció en la sección 4.5.

Por último, para validar el requerimiento 8 de la tabla 3, que establece que el sistema debe actualizar los datos con una sincronización menor a 5 segundos, se hicieron pruebas para determinar el tiempo que duran los datos para actualizarse en el SCADA después de que cambian en los equipos.

En el caso del sistema de bombeo no fue necesario realizar las mediciones para determinar cuánto tiempo dura un dato en actualizarse en el SCADA, porque los datos se actualizan a la misma velocidad que lo hace la pantalla de operador que tiene el sistema. Esto, debido a, que utilizan el mismo puerto del PLC y por consiguiente utilizan el mismo protocolo de comunicación para conectarse, ya que, el PLC se conecta a un *switch* Ethernet y en ese mismo dispositivo se conectan la pantalla de operador del panel y la PC del sistema SCADA. Esta sincronización de los datos se comprueba en el vídeo en el lapso de 00:12 hasta 00:42 donde se comparan ambas pantallas al mismo tiempo para observar la actualización de las variables.

Para la caldera si fue necesario hacer mediciones de tiempo, ya que, las conexiones entre los equipos son diferentes. Para realizar las mediciones se tenía el inconveniente de que la caldera estaba en funcionamiento y los parámetros sobre los que se tiene control no son variables medibles en el sistema, además, los valores de las diferentes señales presentan muchas variaciones, es decir, no son valores fijos lo cual no es conveniente para las mediciones. El único parámetro que se podía estabilizar era la tasa de modulación mediante la abertura de las válvulas manuales de consumo, de esta forma se podía llevar la tasa de modulación a 100% y mantenerlo estable en ese valor por un tiempo para observar de mejor manera un cambio que sirviera como referencia para la medición.

Por consiguiente, los cálculos de tiempo para la caldera solo se hicieron con esta variable, pero como la prueba se hizo con el sistema funcionando y leyendo las demás variables a través de la misma conexión, es posible afirmar que el tiempo que tarde esta variable va a ser igual al de las demás.

Los tiempos se midieron de manera manual, entonces, cuando el monitor de la caldera mostraba que la modulación estaba al 100% se iniciaba el cronómetro y luego se detenía hasta que mostrará el 100% en el monitor del SCADA, esto siempre y cuando el valor no cambiará durante el tiempo de la medición.

En la tabla 23 se muestran los resultados de tiempos obtenidos para las diferentes mediciones.

Tabla 23. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en el SCADA con respecto al monitor de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Repetición	Tiempo (s±0.01)	Repetición	Tiempo (s±0.01)
1	2.74	6	2.60
2	3.02	7	3.05
3	2.72	8	2.98
4	2.55	9	3.10
5	2.90	10	3.20

El tiempo promedio obtenido es de: $(2.89 \pm 0.01)s$, con una desviación estándar de: 0.21s.

Se tomaron únicamente 10 mediciones, porque, la desviación estándar estuvo por debajo del valor esperado, lo que demuestra que los datos se mantienen estables y presentan pocas variaciones. Con los resultados mostrados anteriormente es posible establecer que el sistema cumple con el requerimiento de tiempo para actualización de los datos, ya que, las mediciones estuvieron por debajo de los 5 segundos.

5.2 Pruebas de validación para el Sistema de recolección y manejo de datos

La licencia seleccionada para el desarrollo de la aplicación fue la licencia estándar, la cual permite almacenar los datos de hasta 5 años de funcionamiento, por lo tanto, de esta manera se cumple el requerimiento 1 de la tabla 5.

Para validar el requerimiento 2 de la tabla 5 que establece una velocidad de sincronización de los datos de máximo 30 segundos, se hicieron mediciones del

tiempo que dura el sistema en actualizar un dato en el *AVEVA Insight* después de que cambia en los equipos. Se debe tomar en cuenta que la licencia que se utilizó en la validación fue la licencia de prueba que tiene 60 segundos de velocidad de sincronización y mientras que la estándar, que es la que se va a utilizar en el proyecto, tiene 5 segundos.

En el caso del sistema de bombeo se utilizó una de las bombas, la prueba se hizo encendiendo y apagando una misma bomba, como la corriente está en cero cuando esta apagada y apenas se enciende la corriente aumenta de valor, es posible tener dos puntos de referencia. La medición de tiempo comenzaba cuando se encendía la bomba en el panel y el tiempo se detenía cuando el valor en el *AVEVA* cambiaba. En el momento de las mediciones, el *AVEVA* estaba leyendo todos los demás datos, pero solo se media el tiempo de actualización de la corriente. En la tabla 24 se muestran los resultados obtenidos en este caso.

Tabla 24. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en *AVEVA Insight* con respecto al cambio en el sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

Repetición	Tiempo (s±0.01)	Repetición	Tiempo (s±0.01)
1	15.05	9	15.34
2	14.45	10	14.6
3	14.56	11	15.21
4	15.30	12	14.32
5	14.59	13	14.08
6	15.40	14	14.12
7	14.36	15	15.03
8	14.08		

Tiempo promedio obtenido es de: $(14.67 \pm 0.01)s$, con una desviación estándar de 0,43s.

En el caso de la caldera se hizo la misma prueba que para el tiempo de actualización en el SCADA, es decir, usando el porcentaje de modulación y observando cuando el valor pasa a 100%. En la tabla 25 es posible observar los resultados obtenidos en este caso.

Tabla 25. Mediciones de tiempo de actualización de los datos en *AVEVA Insight* con respecto al cambio en la caldera.

Fuente: elaboración propia.

Repetición	Tiempo (s±0.01)	Repetición	Tiempo (s±0.01)
1	18.45	9	17.40
2	17.20	10	18.08
3	18.12	11	17.53
4	17.21	12	19.11
5	18.56	13	18.21
6	18.16	14	17.49
7	18.26	15	18.35
8	18.12		

Tiempo promedio obtenido es de: $(17.95 \pm 0.01)s$, con una desviación estándar de 0,47s.

Para 15 mediciones se logró una desviación estándar menor de 0.5s en ambos casos, con esto se comprueba que los datos tienen una variación pequeña para la medición que se realiza. Los resultados de las tablas 24 y 25, cumplen con el requerimiento de sincronización de los datos para un máximo de 30 segundos, a pesar de que la licencia que se está usando es la de prueba. El resultado obtenido en este caso fue mucho más bajo de lo esperado por el tipo de licencia que se usó, pero este se debe a la cantidad de datos que se están sincronizando, ya que, son 13 puntos de datos mientras la licencia permite hasta 1000. También, se debe mencionar que esos tiempos pueden variar significativamente dependiendo de la velocidad de internet que tenga el sistema para subir los datos y la velocidad de internet que tenga el dispositivo por el cual se está ingresando al *AVEVA Insight* para actualizarlos.

En el vídeo del anexo 3 en el lapso de 03:20 hasta 06:24, es posible observar cómo al acceder al *AVEVA Insight* desde distintos dispositivos remotos utilizando la aplicación, se pueden ver los datos en tiempo real del sistema de bombeo y de la

caldera del hospital. Además, en el vídeo es posible observar que los datos que se visualizan en el AVEVA coinciden con los valores reales que tienen los equipos en el momento. También, se observa como el sistema alerta por medio de notificaciones cuando una de las señales de fallo se activa y el anexo 2 muestra como la aplicación permite ver los datos de manera gráfica para diferentes periodos de tiempo. De esta manera se validan los requerimientos 3 y 4 de la tabla 5.

5.3 Pruebas de validación para el sistema de visualizar información en campo

La función principal de este sistema es la de servir como herramienta para los operadores en el uso y manejo del sistema de bombeo. Esta aplicación al usarse en celulares y tabletas permite un fácil y rápido acceso para cualquier operador, lo que permite validar el requerimiento 1 de la tabla 6.

Con el vídeo del enlace del anexo 3, a partir de 06:32 hasta 09:10 es posible observar cómo se validan los requerimientos 3, 4 y 5, ya que, se observa como la aplicación identifica los equipos y superpone sobre ellos imágenes precargas o etiquetas con los valores de la medición. También, se observa como esos valores están siendo actualizados en tiempo real y se permite la identificación de algún fallo por medio del cambio en la visualización de la etiqueta. En la figura 49 se observa una captura que permite visualizar la forma en que se representa un fallo en el sistema, cambiando a color naranja la etiqueta. Además, muestra la forma de acceder a los manuales y guías de programación del variador, así como los diagramas de conexión de cada PLC



Figura 50. Visualización de un fallo en el sistema de visualización en campo.

Fuente: elaboración propia.

Para validar el requerimiento 2 de la tabla 6, se muestra en el vídeo a partir de 09:20 la forma de ejecutar los diferentes procedimientos. Esta parte de la aplicación permite al operario tener guías que le sirven de ayuda ante determinadas situaciones. Es posible ver como la mayoría de los pasos vienen acompañados de imágenes que permiten una fácil identificación de los equipos en sitio, además, algunos pasos sirven como advertencia para evitar accidentes, dando mayor seguridad al operario sobre lo que está realizando.

El uso de comentarios en las diferentes escenas sirve para informar o alertar sobre alguna situación a los demás operarios o encargados de trabajar con los equipos, más si se considera que ellos trabajan por turnos y muchas veces desconocen alguna situación que se haya presentado en otro turno. En la figura 50 se observa una escena después de que haya escrito sobre esta un comentario previamente.



Figura 51. Visualización de un comentario sobre una escena en el sistema de visualización en campo.

Fuente: elaboración propia.

Este sistema además de servir como herramienta para los operadores, también, ayuda al ingeniero encargado de la casa de máquinas del hospital a monitorear el uso y la eficiencia en el tiempo utilizado por los operadores para finalizar un procedimiento, ya que, el sistema lleva un registro de esto tal y como se observa en la figura 51.

HISTORY		
Name ↕	Start date ^	End date ↕
Limpieza General del Panel (11/28/2020 12:13:01 PM)	11/28/2020, 6:04:10 PM	11/28/2020, 6:13:01 PM
Conectar PC con PLC (11/30/2020 4:57:28 AM)	11/30/2020, 10:53:54 AM	11/30/2020, 10:57:28 AM
Limpieza General del Panel (11/30/2020 4:59:58 AM)	11/30/2020, 10:57:40 AM	11/30/2020, 10:59:58 AM
Restablecer fallos variador (11/30/2020 5:01:10 AM)	11/30/2020, 11:00:07 AM	11/30/2020, 11:01:10 AM
Conectar PC con PLC (11/30/2020 12:31:26 PM)	11/30/2020, 6:30:32 PM	11/30/2020, 6:31:26 PM
Limpieza General del Panel (11/30/2020 12:32:28 PM)	11/30/2020, 6:31:35 PM	11/30/2020, 6:32:28 PM
Restablecer fallos variador (11/30/2020 12:32:58 PM)	11/30/2020, 6:32:39 PM	11/30/2020, 6:32:58 PM
Fallo panel bomba pozo (11/30/2020 12:33:40 PM)	11/30/2020, 6:33:08 PM	11/30/2020, 6:33:40 PM

Figura 52. Registro de los diferentes procedimientos realizados en el sistema de visualización en campo.

Fuente: elaboración propia.

6 Análisis económico

En secciones anteriores se han definido los equipos y licencias necesarias que se deben adquirir para implementar este proyecto. En la tabla 26 se observa un desglose del costo de los equipos y materiales necesarios para la implementación del proyecto, considerando, únicamente la parte de diseño, es decir, no se incluye el costo de la instalación de los equipos ni la puesta en marcha del sistema. Los precios fueron definidos con respecto a los precios actuales que tiene Electro Beyco al cliente para estos equipos y licencias.

Tabla 26. Costos de los diferentes equipos y licencias que se necesitan para implementar el proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Descripción	Cantidad	Costo (C)
Costo mensual por trabajo de diseño del proyecto	6	2.100.000
Licencia de ejecución de <i>In Touch Edge</i>	1	1.011.400
Licencia Estándar de <i>AVEVA Insight</i>	1	1.612.680
Licencia de <i>Augmented Operator Advisor Runtime</i>	1	1.056.965
<i>InTouch Panel PC</i> modelo HMI-TCND0U-15AC-X00H	1	2.493.926
Tp-link Wr902ac <i>Router Ac750</i> 3g/4g Inalámbrico	1	23.000
Conector Modbus tipo T	1	13.538
Cable UTP	20	7051
Terminales RJ-45	10	1900
Suma neta		¢8.320.460

Se debe mencionar que la empresa ya contaba con todas las licencias para la creación y desarrollo de los programas, pero para la implementación es necesario que el cliente adquiriera las licencias de ejecución correspondientes.

Por otra parte, los gastos anuales del hospital solo en mantenimientos preventivos para el sistema de bombeo y la caldera hechos por subcontratistas tienen un valor de ¢6.000.000, valor estimado por el ingeniero del hospital, esto sin

incluir los gastos en los distintos repuestos para los equipos o la sustitución de otros que se dañan.

Ahora bien, se debe considerar que el proyecto brinda herramientas que sirven para mejorar el mantenimiento a través del monitoreo de los equipos y el almacenamiento de datos, acción que va a servir posteriormente para evaluar el funcionamiento de cada equipo y crear planes de mantenimientos, no solo preventivos, sino también predictivos o detectivos mediante el uso de datos. Además, tiene otro sistema que sirve como guía para para los operadores en la realización de los diferentes mantenimientos o atención de fallos que se presenten.

Lo anterior demuestra que el proyecto brinda las herramientas necesarias para que sean los mismos operarios del hospital los que realicen las funciones de mantenimiento en los sistemas, por lo tanto, el hospital puede recuperar la inversión hecha en el proyecto en un año y cuatro meses, dejando de subcontratar los mantenimientos preventivos.

El proyecto tiene, además, un valor agregado y es que mejora la operabilidad y el monitoreo de los equipos, especializando aún más el trabajo de los operarios, ya que, les brinda herramientas que facilitan y les ayudan en los distintos trabajos y funciones.

7 Conclusiones

Se desarrollaron tres sistemas: un sistema de control centralizado, un sistema de recolección y manejo de datos y un sistema para visualizar información en campo del panel de bombeo; los cuales logran mostrar y almacenar la información y controlar los equipos desde una PC industrial, además, sirven de apoyo para los operarios en las labores de mantenimiento y operación del panel.

Se hizo un estudio del funcionamiento y de los componentes que tienen la caldera y el sistema de bombeo y se logró clasificar los equipos y variables más importantes que tienen los sistemas para posteriormente usar esta información en el desarrollo de las distintas aplicaciones. Esta información se resume en las tablas 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

Con el sistema para visualizar información en campo del sistema de bombeo se logró crear una herramienta que ayuda a los operarios en la interacción con las máquinas brindando información sobre los equipos mediante el acceso a los diferentes manuales o diagramas de conexión, la visualización del estado de las diferentes señales en tiempo real y la identificación de los equipos en sitio. Además, esta herramienta proporciona procedimientos que sirven como guías para los operadores en la atención de fallos o en el desarrollo del mantenimiento general del panel de bombeo.

También se desarrolló un sistema de control centralizado que recolecta los datos de funcionamiento de la caldera y del sistema de bombeo y permite el muestro y el control de estos datos en una PC industrial con un retraso de 2.89s para la caldera y en tiempo real para el sistema de bombeo. Además, emite alertas cuando alguna de las mediciones se encuentra fuera de los rangos esperados o cuando algún equipo falla y tiene la capacidad de almacenar el histórico de fallos por un año de funcionamiento.

Por último, el sistema de control y manejo de datos guarda en la nube los datos del funcionamiento por un periodo de 5 años y permite monitorear los datos de manera remota (desde una aplicación para celulares y tabletas o desde una computadora), con un retraso en la actualización de los datos de 14.65s para el

sistema de bombeo y 19.95s para la caldera. Los datos se muestran de manera gráfica y es posible visualizarlos y compararlos en diferentes periodos de tiempo.

Se logró validar la funcionabilidad y operabilidad los sistemas conectando el sistema de bombeo y la caldera a una PC donde se encontraban los tres sistemas creados y se comprobó el correcto funcionamiento y la adaptabilidad de los equipos con el diseño creado, tal y como se demuestra en el vídeo de validación del anexo 3.

8 Recomendaciones

- Para asegurar que el sistema de recolección y manejo de datos actualice los valores lo más rápido posible se recomienda que la PC industrial que se va a instalar en el cuarto del operador tenga una conexión fija a internet mediante la red interna del hospital, evitando el uso de redes por telefonía móvil o de conexiones inalámbricas, para que la conexión sea estable y de buena calidad.
- Se recomienda que el uso de la aplicación de *Augmented Operator Advisor* se realice con una tableta, porque, mejora la visualización de los equipos y sus respectivas señales y manuales, dando una mejor experiencia de uso.
- Se recomienda que en adelante los equipos o máquinas adquiridas tengan puertos para comunicación Modbus serial o Modbus TCP/IP de tal forma que se puedan agregar y adaptar al proyecto creado.
- Se recomienda la modificación del programa del PLC del sistema de bombeo para que sea posible apagar las bombas desde el SCADA y no únicamente desde la maneta que está en puerta.
- Se recomienda analizar los datos que se recopilan en el *AVEVA Insight* con el objetivo de detectar a tiempo cualquier anomalía que se presente y se recomienda que se utilicen estos datos para crear planes de mantenimiento preventivos, predictivos o detectivos de los equipos.

9 Referencias bibliográficas

- [1] Electro Beyco, “Quiénes Somos”, n.d. [Online]. Available: <https://www.electrobeyco.com/quienes-somos> [Accesed: Feb. 10, 2020].
- [2] Caja Costarricense de Seguro Social, “Hospital San Carlos”. [Online]. Available: <https://www.ccss.sa.cr/hospitales?v=23> [Accesed: Feb. 10, 2020].
- [3] d. Luna, “Beneficios de un sistema de monitoreo para mantenimiento 4.0 en equipos electrónicos”, Reportero Industrial, para febrero, 2018. [Online]. Available: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Beneficios-de-un-sistema-de-monitoreo-para-mantenimiento-40-en-equipos-electronicos+123980>. [Accesed: Mar. 25, 2020].
- [4] E. Villamil, Introducción al Proyecto de Ingeniería, 2003, Universidad Politécnica de Cataluña. [Online]. Available: http://materias.fi.uba.ar/6612/archives/Libro_materia.pdf. [Accesed: Mar. 3, 2020].
- [5] S. Khandani, Engineering Design Process, 2005, IISME Solectron. [Online]. Available: <https://resources.saylor.org/wwwresources/archived/site/wp-content/uploads/2012/09/ME101-4.1-Engineering-Design-Process.pdf>. [Accesed: Mar. 3, 2020].
- [6] J. A. Vásquez, “Homologación de protocolo de comunicación Modbus RTU a protocolo Modbus TCP-IP utilizando un controlador lógico programable”, Licenciatura tesis, Universidad de San Carlos Guatemala, 2018.

[7] G. Tolosa, "Protocolos y Modelo OSI", 2014. [Online]. Available: <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYR-publica/02-Protocolosy-OSI.pdf>. [Accessed: Mar. 25, 2020].

[8] Engineer Ambitiously, "Información Detallada sobre el Protocolo Modbus", 2019. [Online]. Available: <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html> [Accessed: Mar. 28, 2020].

[9] J. Bartolomé, "El Protocolo Modbus", 2011. [Online]. Available: <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm> [Accessed: May. 10, 2020].

[10] F. A. Candelas, "Comunicación con RS-485 y Modbus", 2011. [Online]. Available: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18990/1/AA-p3.pdf> [Accessed: May. 21, 2020].

[11] TechTarget, "Ethernet", 2012. [Online]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/Ethernet#:~:text=Ethernet%20is%20the%20traditional%20technology,rules%20or%20common%20network%20language.&text=An%20Ethernet%20cable%20is%20the,over%20which%20the%20data%20travels.> [Accessed: Jul. 14, 2020].

[12] Acromag, "Introduction to Modbus TCP/IP", 2012. [Online]. Available: https://www.acromag.com/wp-content/uploads/2019/08/White-Paper-Introduction-to-ModbusTCP_765B.pdf [Accessed: May. 10, 2020].

[13] Universidad Internacional de Valencia, "¿Qué es el sistema Scada?", 2018. [Online]. Available: <https://www.universidadviu.com/que-es-el-sistema-scada/>. [Accessed: May. 12, 2020].

[14] T. A. Adams, "SCADA System Fundamentals", 2014. [Online]. Available: <https://www.cedengineering.com/userfiles/SCADA%20System%20Fundamentals.pdf>. [Accesed: May. 12, 2020].

[15] N. Ramzan, "Process Dynamics and Control", 2010. [Online]. Available: <https://www.cedengineering.com/userfiles/SCADA%20System%20Fundamentals.pdf>. [Accesed: May. 12, 2020].

[16] J. Salazar & S. Silvestre, "Internet de las Cosas". [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100921/LM08_R_ES.pdf. [Accesed: Jun. 02, 2020].

[17] K. Rose, S. Eldridge & L. Chapin, "Internet de las Cosas una Breve Reseña", 2015. [Online]. Available: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>. [Accesed: Jun. 02, 2020].

[18] D. Benitez, C. Anías & L. Plasencia, "Propuesta de Arquitectura para Internet de las Cosas", 2016. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320353907_Propuesta_de_arquitectura_para_Internet_de_las_Cosas. [Accesed: Jun, 02, 2020].

[19] L. Galán, "Realidad Aumentada, Interacción Persona-Ordenador". [Online]. Available: https://www.fiwiki.org/images/f/fe/Realidad_Aumentada.pdf. [Accesed: Sep. 29, 2020].

[20] I. M. Melo, Realidad aumentada y aplicaciones, 2018, Universidad distrital Francisco José De Caldas. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/download/11281/pdf/>. [Accesed: Sep. 29, 2020].

[21] C. B. Ynzunza, J. M. Izar, J. G. Bocarando, F. Aguilar & M. Osorio, “El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras”, 2017. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94454631006/94454631006.pdf>. [Accesed: May. 18, 2020].

[22] R. Blanco, J. Fontrodona & C. Poveda, “La Industria 4.0: El Estado de la Cuestión”. [Online]. Available: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/406/BLANCO,%20FONTRODONA%20Y%20POVEDA.pdf>. [Accesed: May. 19, 2020].

[23] P. Abarca, “Descripción de Calderas y Generadores de Vapor”, 2011. [Online]. Available: <http://www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion/CentrodeFichas/Documents/descripcion-de-caldera-y-generadores-de-vapor.pdf>. [Accesed: Mar. 10, 2020].

[24] Superior Boiler Works, “Scotch Marine Firetube Steam Boiler Manual”, 2011. [Online]. Available: <https://superiorboiler.com/app/uploads/2017/08/Web-Standard-Steam-Wetback-Manual.pdf>. [Accesed: Feb. 24, 2020].

[25] CONSTRUMÁTICA, “Caldera”, n.d. [Online]. Available: <https://www.construmatica.com/construpedia/Caldera> [Accesed: Mar. 10, 2020].

[26] M. Sanz & M.R. Patiño, Manual Práctico de Operador de Calderas Industriales, Madrid: Ediciones Paraninfo, SA, 2014. [Online]. Available: https://books.google.co.cr/books?id=xtj7CAAAQBAJ&pg=PA79&dq=calderas+definici%C3%B3n&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj_xqPh7I7rAhWid98KHQsEBKwQ6AEwA3oECAMQA#v=onepage&q=calderas%20definici%C3%B3n&f=false. [Accesed: Mar. 10, 2020].

[27] A.C. Robles, “Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora en la gestión de activos físicos de grúas pórtico”, Tesis, grado bachillerato, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2015

[28] H. Wang, X. Ye & M. Yin, “Study on Predictive Maintenance Strategy”, International Journal of service, Science and Technology. Vol.9. No. 4, 295-300, 2016.

[29] Fireye, “YB110/YB230 Burner Logix”, 2018. [Online]. Available: <https://www.fireye.com/Content/Documents/burnerlogix-yb110-yb230-module-display.pdf>. [Accessed: Feb. 10, 2020]

[30] Fireye, “NXF4000/PPC4000 Modbus Communications”, 2017. [Online]. Available: <https://www.fireye.com/Content/Documents/nexus-ppc4000-modbus-communications.pdf>. [Accessed: Feb. 10, 2020]

[31] Schneider Electric, “Modicon M221 Programmable logic controller for hardwired architectures”, 2020. [Online]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Modicon+M221

+Programmable+logic+controller+for+hardwired+architectures.pdf&p_Doc_Ref=DI
A3ED2140106EN. [Accesed: Sep. 25, 2020].

[32] O. J. Castillo, “Estadística Módulo 1”, 2009. [Online]. Available:
[http://www.alejandrogonzalez.com.ar/archivos/librodecalidad-
estadisticaaplicada.pdf](http://www.alejandrogonzalez.com.ar/archivos/librodecalidad-estadisticaaplicada.pdf). [Accesed: Sep. 10, 2020].

10 Anexos

10.1 Guía de usuario del sistema de control centralizado SCADA.

A continuación, se muestra una guía de usuario para el uso del sistema de control centralizado (SCADA) desde la PC industrial que va a estar en el cuarto del operador.


1. Encabezado general.

El encabezado que se muestra en la figura 53 tiene 4 botones que permiten movilizarse a través de las pantallas:

- General: muestra una pantalla general del sistema SCADA.
- Bombeo: muestra las pantallas del sistema de bombeo.
- Caldera: muestra las pantallas de la caldera.
- Cerrar: cierra la aplicación.

Además, tiene una pantalla para visualizar las alertas activas del sistema en todo momento. La alerta se muestra con colores, dependiendo del estado de estas:

- Rojo = Activada.
- Verde = Reconocida.
- Celeste = Desactivada.



The screenshot shows the SCADA system interface. At the top left is the 'SEGURO SOCIAL' logo. In the center are four buttons: 'GENERAL' (green), 'BOMBEO' (grey), 'CALDERA' (grey), and 'CERRAR' (red). On the right, it says 'ELECTRO BEYCO Soluciones Electromecánicas' and the time '11:40:53 AM Vie 12/04/2020'. Below this is a table with the following data:

⚠ Tiempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
12/04/2020 11:40:47	PRESION_ACTUAL	Presión Baja en la Tubería	UNACK

Figura 53. Encabezado general del sistema SCADA.

Fuente: elaboración propia.

2. Pantalla general.

Se observa en la figura 54 y muestra las señales más importantes del sistema de bombeo y la caldera.

Del sistema de bombeo es posible observar:

- El estado de las bombas.
- La presión de salida.

- El nivel de los tanques.

Para la caldera muestra los siguiente:

- Estado de funcionamiento del quemador.
- Estado de funcionamiento del controlador del proceso.
- Tipo de modulación y valor de la modulación.
- Presión de vapor de la caldera.
- Temperatura interna de la caldera.



Figura 54. Pantalla general del SCADA.

Fuente: elaboración propia.

3. Pantalla Bombeo.

a. **Pantalla Principal:** se muestra en la figura 55 y permite monitorear las siguientes señales:

- Presión de salida actual.
- Caudal de salida lavandería (caudal 1).
- Caudal de salida hospital (caudal 2).
- Caudal total lavandería (caudal 1).
- Caudal total hospital (caudal 2).
- Nivel de cloro y pH en el agua.
- Nivel de los tanques 1 y 2.
- Estado de la bomba: Rojo – Apagado, Verde – Encendida, Anaranjada – en fallo.

- Señal de auto: Rojo – Automático Apagado, Verde – Automático Encendido.
- En el botón de información junto a cada bomba se despliega una pantalla emergente que muestra información de cada bomba:
 - Frecuencia de operación.
 - Corriente actual.
 - Horas de funcionamiento.
 - Estado de operación.

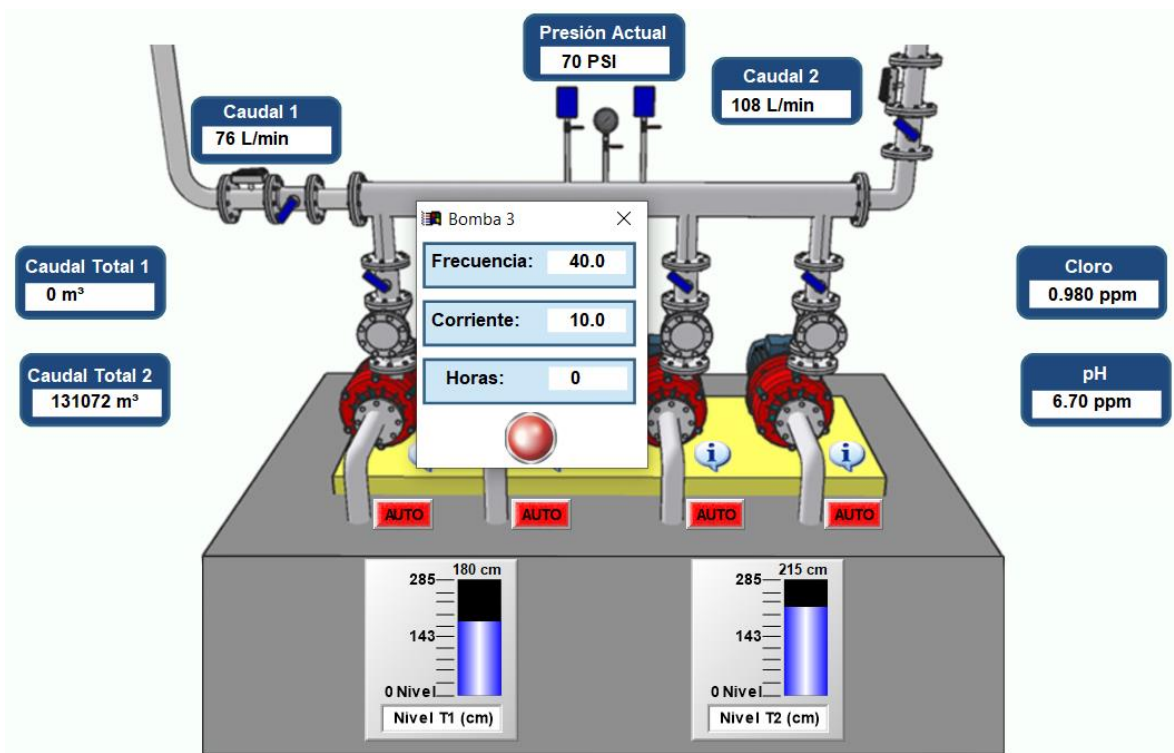


Figura 55. Pantalla principal del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

- b. Pantalla Configuración:** se observa en la figura 56 y permite modificar los siguientes parámetros del sistema de bombeo:
- Presión de salida deseada.
 - Velocidad de salida deseada.
 - Velocidad de sincronía de las bombas.

- Histéresis.
- Constantes proporcional, diferencial e integral del control PID.
- Forzar la activación del automático de las bombas.

PARÁMETROS MODIFICABLES DEL PLC

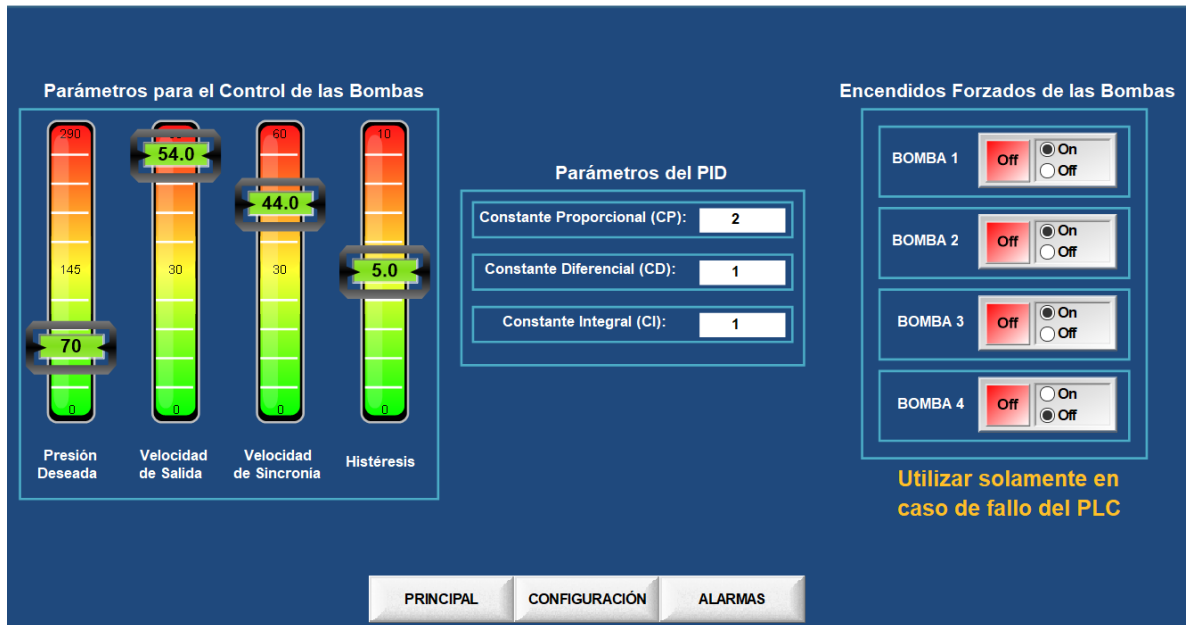


Figura 56. Pantalla principal del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

- c. **Pantalla Alarmas:** muestra el histórico de las alertas generadas en el sistema. Es posible observar el tiempo de activación de la falla, el nombre de la variable, el mensaje relacionado y el estado (ver figura 57).

HISTORIAL DE ALARMAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Tempo de Activaci...	Nombre de Tag	Mensaje	Estado
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_1	Nivel Bajo en Tanque 1	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Bajo en Tanque 2	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	PH_CLORO	Nivel Bajo de pH en el Agua	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	PH_CLORO	Nivel Bajo de pH en el Agua	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Bajo en Tanque 2	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_1	Nivel Bajo en Tanque 1	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_1	Nivel Bajo en Tanque 1	UNACK
12/04/2020 08:33:58	NIVEL_TANQUE_2	Nivel Bajo en Tanque 2	UNACK
12/04/2020 08:33:58	PH_CLORO	Nivel Bajo de pH en el Agua	UNACK
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B4	Fallo de Bomba 4	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	COLORO	Nivel Bajo de Cloro en el Agua	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	COLORO	Nivel Bajo de Cloro en el Agua	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B4	Fallo de Bomba 4	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B4	Fallo de Bomba 4	UNACK
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B3	Fallo de Bomba 3	UNACK
12/04/2020 08:33:58	COLORO	Nivel Bajo de Cloro en el Agua	UNACK
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B2	Fallo de Bomba 2	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B2	Fallo de Bomba 2	UNACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B2	Fallo de Bomba 2	UNACK
12/04/2020 08:33:58	FALLO_B1	Fallo de Bomba 1	ACK_NORM
12/04/2020 08:33:58	PRESION_ACTUAL	Presión Baja en la Tubería	ACK_NORM

PRINCIPAL CONFIGURACIÓN ALARMAS

Figura 57. Pantalla de alarmas del sistema de bombeo.

Fuente: elaboración propia.

4. Pantalla Caldera.

a. **Pantalla Caldera:** se observa la pantalla en la figura 58 y muestra la siguiente información:

- Estado de operación de la caldera.
- Tipo y tasa de modulación.
- La posición de los servomotores de gas y aire.
- La temperatura interna.
- El estado de la entrada digital que indica el estado del control del quemador: verde – encendido y gris – apagado.
- La presión de vapor.
- En el botón de información junto a la presión de vapor despliega una pantalla emergente que muestra los parámetros configurados para el control automático que utiliza.



Figura 58. Pantalla general de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

b. Pantalla Quemador: se observa en la figura 59 y se describen las señales de información del funcionamiento de la caldera:

- **Estado de las entradas digitales:** verde - encendida y gris – apagada.
- **Estado de las salidas digitales:** verde - encendida y gris – apagada.
- **Estado de operación del quemador:** muestra la modulación actual del quemador y un mensaje que indica la función que está realizando.

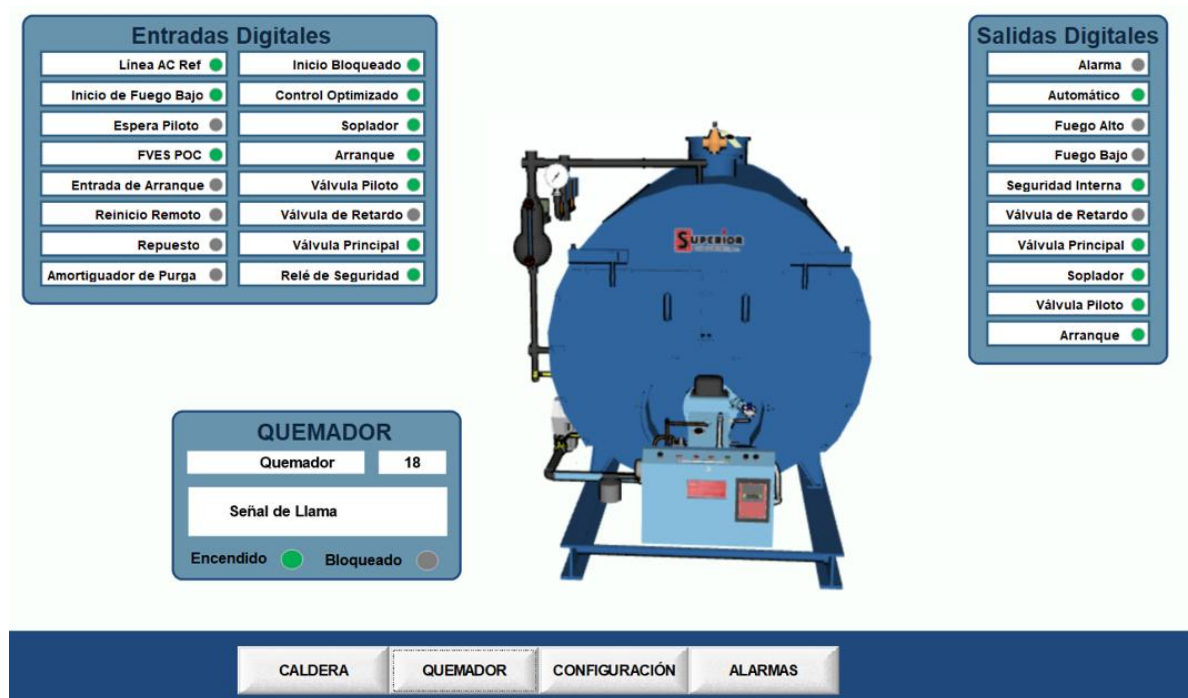


Figura 59. Pantalla del quemador de la caldera.

Fuente: elaboración propia.

c. **Pantalla Configuración:** Se muestra en la figura 60 y permite realizar las siguientes funciones:

- Encendido y apagado de la caldera.
- Poner en modulación fuego bajo.
- Poner como maestro de secuencia.
- Pasar el control de automático a manual o viceversa.
- Regular el valor de la modulación en modo manual.

Como algunos de las alertas de la caldera se representan con un número (por ejemplo, e12 como se observa en la figura 61), existe una pantalla que describe el fallo al que corresponde a cada número, tal y como se muestra en la figura 62, donde es posible observar el número de error, el mensaje en el monitor para ese respectivo error, la razón de error y la posible solución.

ID	Código	Mensaje	Razón de Error	Posible Solución
1	e1	Fallo PPC4000	ARM CPU Auto-Test	Reemplace PPC4000
2	e2	Fallo PPC4000	ARM CPU Código CRC	Reemplace PPC4000
3	e3	Fallo Placa Z	PPC400 No puede comunicarse con la placa Z	Revise o reemplace la placa Z
4	e4	Rele de Seguridad...	Voltaje de de línea activo en el pin 9 de P5 cuando no debería haberlo	Revise el cableado al terminal específico
5	e5	Rele de Seguridad...	El sistema no detecta un voltaje activo en su entrada de relE de segur...	Revise el fusible
6	e6	Rele 8 Activo	Voltaje de de línea activo en el pin 2 de P5 cuando no debería haberlo	Revise el cableado al terminal específico
7	e7	Rele 8 Apagado	El sistema no detecta un voltaje activo en en el pin 2 de P5	Reemplace PPC4000
8	e8	Rele D Activo	Voltaje de de línea activo en el pin 1 de P5 cuando no deberÃa haberlo	Revise el cableado al terminal específico
9	e9	Rele D Apagado	El sistema no detecta un voltaje activo en en el pin 2 de P5	Reemplace PPC4000
10	e10	No Usado	No Usado	
11	e11	Perfil Invalido	Suministro de voltaje de línea a mas de uno de los siguientes: P15-5;...	Revisar cableado
12	e12	Temperatura Alta	Temperatura Interna es arriba de 80Â°C	Verifique el ventilador o proporcione mejor ventilacion
13	e13	Comprobar el Ca...	Suministro de voltaje de línea al terminal a mÃas de uno de los siguien...	Revisar cableado
14	e14	Comprobar el Ca...	No se esta conectando uno o mas de los siguientes terminales: P15-2...	Revisar cableado
15	e15	No Servo de Aire	No existe un servo llamado "Aire" en el perfil actual	Nombre un servo como "Aire" en el perfil actual
16	e16	No Servo de Com...	No existe un servo en el perfil actual con uno de los siguientes nombr...	Nombre un servo en el perfil actual como servo de com...
17	e17	Punte de Ajuste In...	No se configurÃa el punto de ajuste 2 para usar el sensor 1	Configure el punto de ajuste 2 para usar el sensor 1
18	e18	No usado	No usado	
19	e19	Sensor 1 Marginal	El sensor 1 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal
20	e20	Sensor 1 Marginal	El sensor 1 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal
21	e21	Sensor 2 Marginal	El sensor 2 ha alcanzado el ajuste marginal definido	Puede ser una operacion normal

Figura 62. Pantalla de descripción de los fallos de la caldera.

Fuente: elaboración propia

10.2 Pantallas disponibles desde el AVEVA Insight

A continuación, se muestran los diferentes paneles de información creados en el AVEVA Insight y los cuáles pueden ser vistos desde la aplicación para celulares y tabletas o directamente desde la página de AVEVA Insight utilizando el respectivo usuario de la cuenta.

La información se divide en dos paneles generales, uno para la información del sistema de bombeo y otro para la información de la caldera. Ambos paneles tienen el panel general que se muestra en la figura 63.

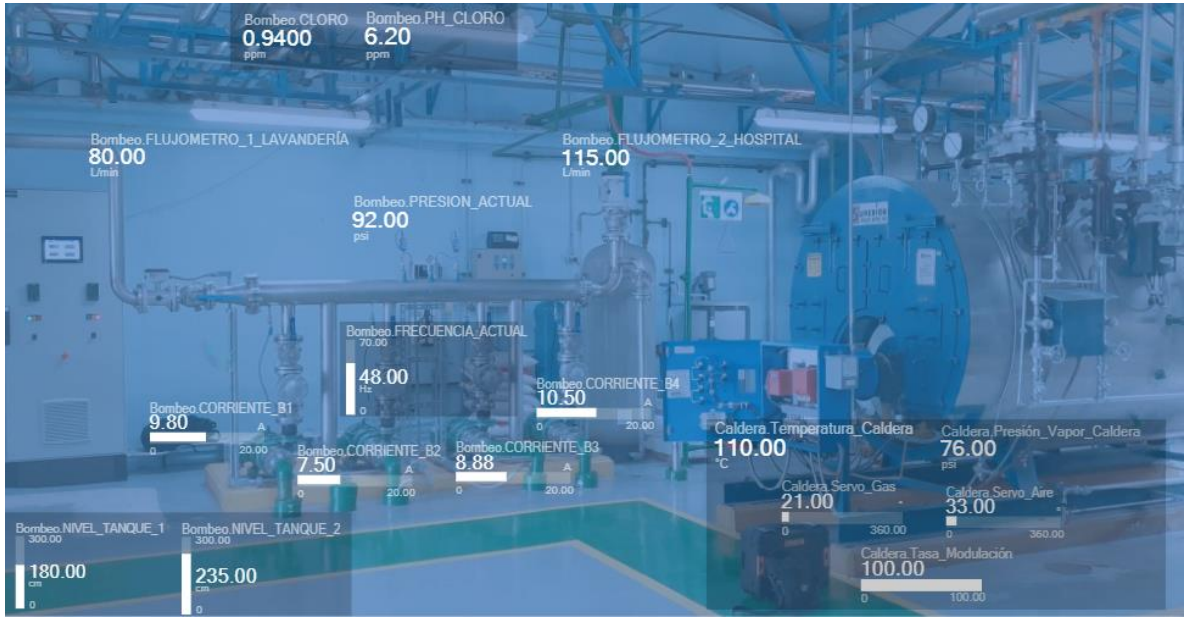


Figura 63. Panel de información general de ambos sistemas.

Fuente: elaboración propia.

10.2.1 Bombeo Panel de Información.

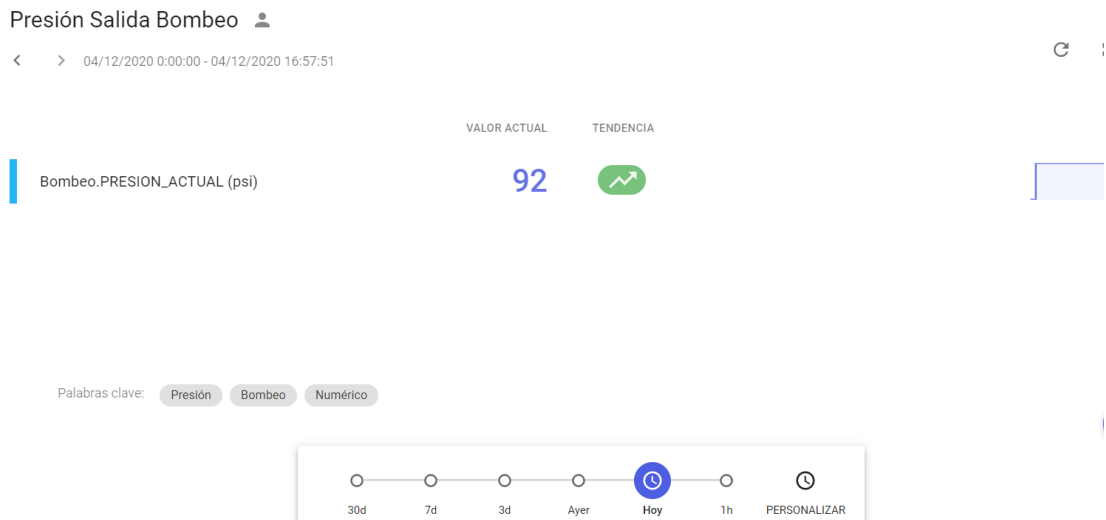
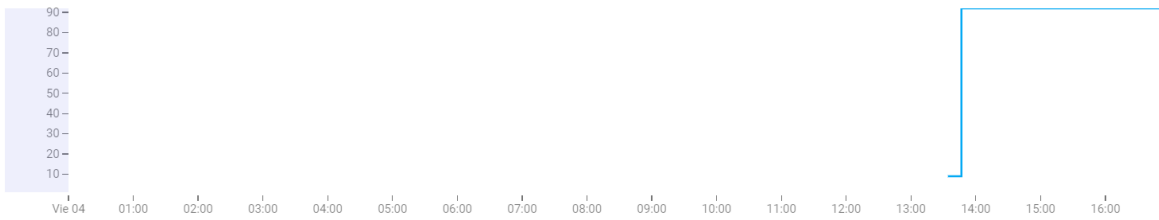


Figura 64. Presión de salida bombeo representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Presión Salida Bombeo - Gráfico

04/12/2020 0:00:00 - 04/12/2020 16:58:54



Bombeo.PRESION_ACTUAL (psi)

Palabras clave: Presión Bombeo Gráfico



Figura 65 . Presión de salida bombeo representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Frecuencia Bombeo

04/12/2020 0:00:00 - 04/12/2020 17:03:38



VALOR ACTUAL TENDENCIA

Bombeo.FRECUENCIA_ACTUAL (Hz)

48

Palabras clave: Frecuencia Numérico Bombeo



Figura 66. Frecuencia de salida de las bombas representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Frecuencia Bombeo - Gráfico



Figura 67. Frecuencia de salida las bombas representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Corriente Bombas



Figura 68. Corriente en las bombas representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Corriente Bombas - Gráfico

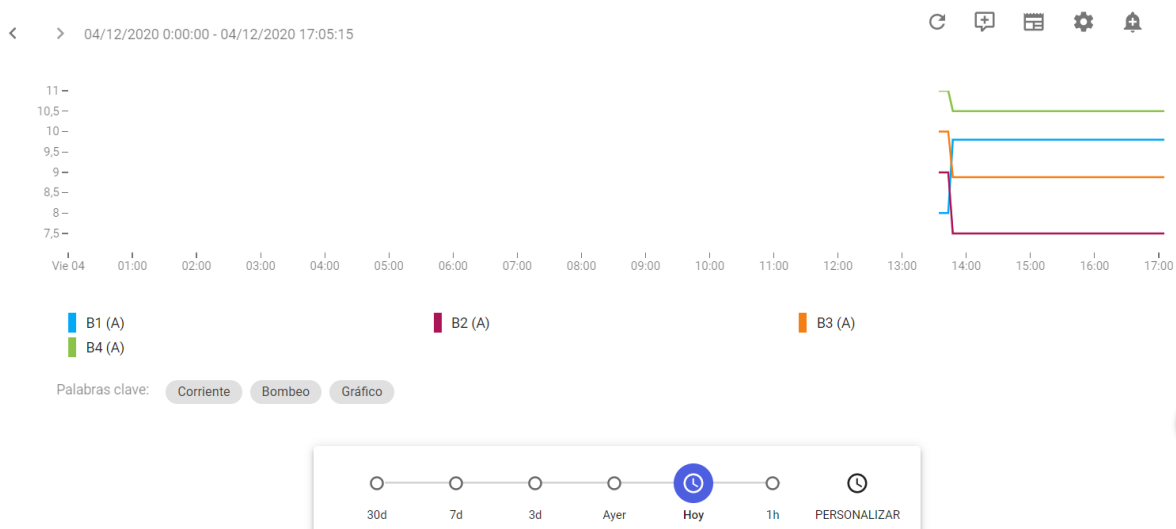


Figura 69. Corriente en las bombas representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Nivel Tanques Bombeo

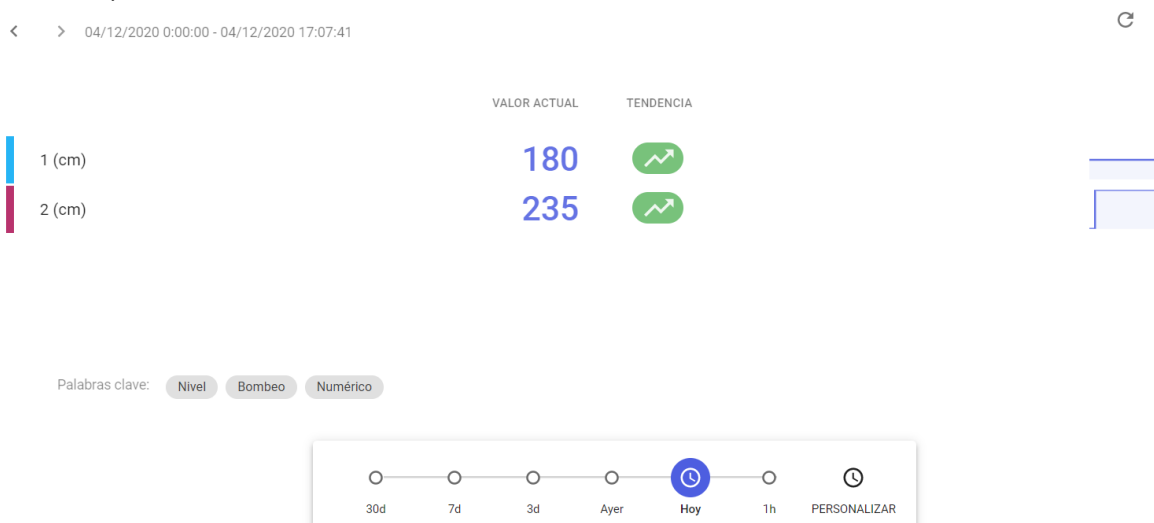


Figura 70. Niveles de los tanques representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Nivel Tanques Bombeo - Gráfico

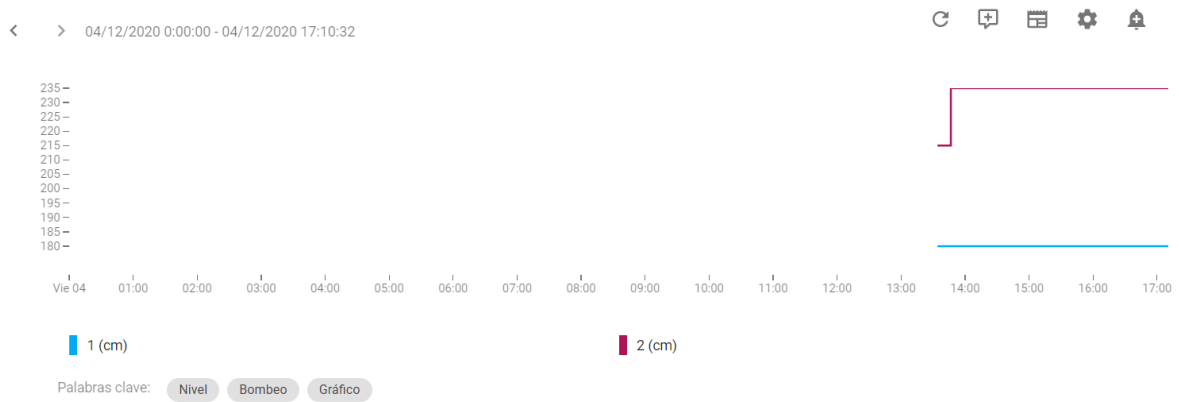


Figura 71 . Niveles de los tanques representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Sensores Flujo Bombeo

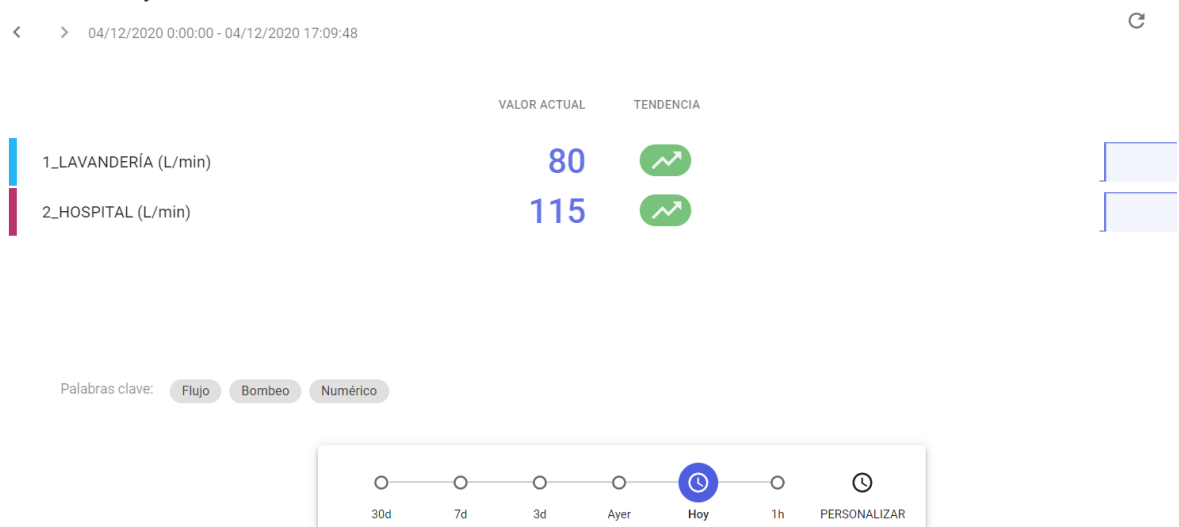


Figura 72. Mediciones de los sensores de flujo representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Sensores Flujo Bombeo - Gráfico



Figura 73. Mediciones de los sensores de flujo representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Sensor Cloro Bombeo

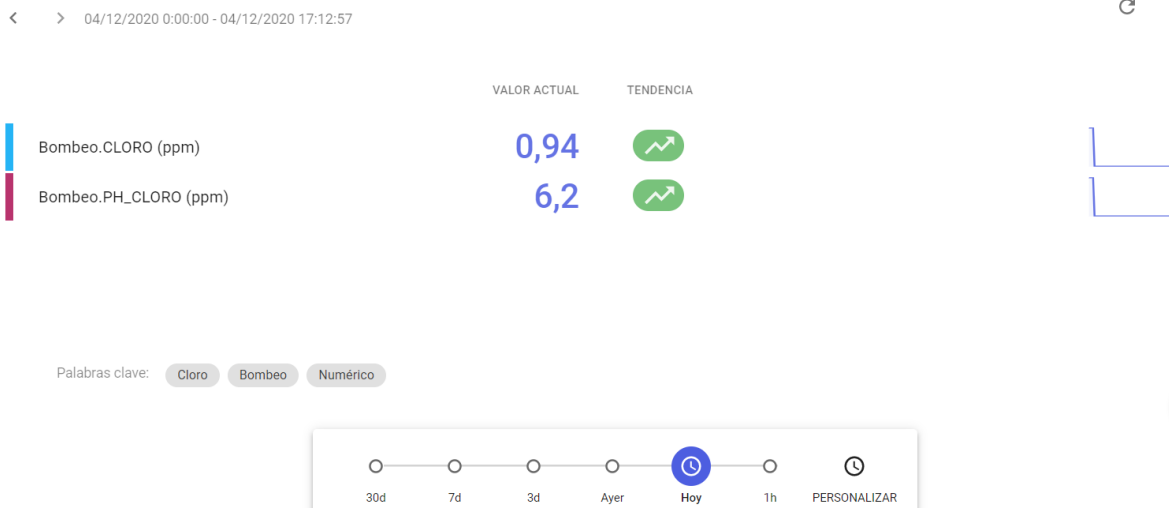


Figura 74. Mediciones del sensor de cloro representación numérica.

Fuente: elaboración propia.



Figura 75. Mediciones del sensor de cloro representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

10.2.2 Caldera Panel de Información.

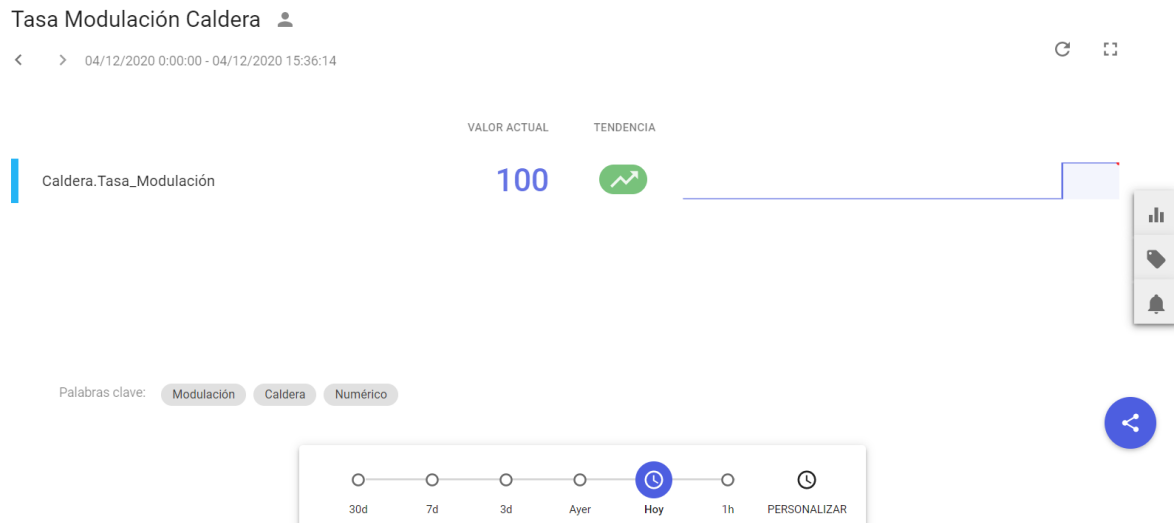


Figura 76. Tasa de modulación de la caldera representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Tasa Modulación Caldera - Gráfico



Figura 77. Tasa de modulación de la caldera representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Presión Vapor Caldera

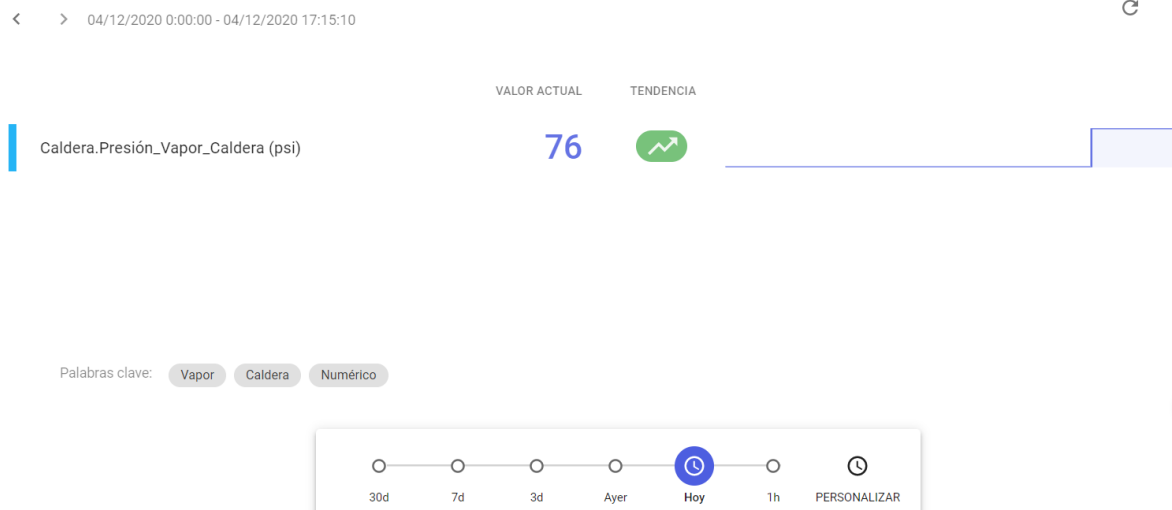
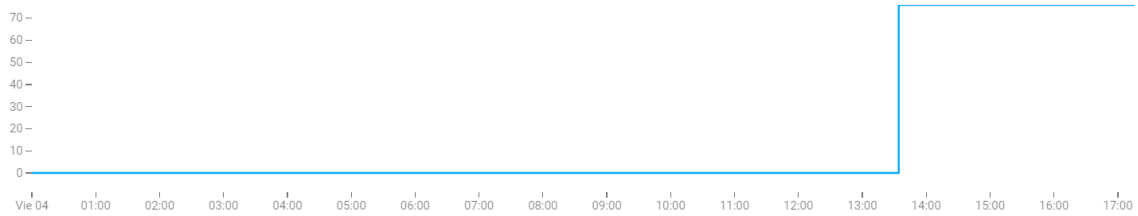


Figura 78. Presión de vapor representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Presión Vapor Caldera - Gráfico

< > 04/12/2020 0:00:00 - 04/12/2020 17:15:47



Caldera.Presión_Vapor_Caldera (psi)

Palabras clave: Vapor Caldera Gráfico



Figura 79. Presión de vapor representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Temperatura Interna Caldera

< > 04/12/2020 0:00:00 - 04/12/2020 17:16:18



VALOR ACTUAL TENDENCIA

Caldera.Temperatura_Caldera (°C)

110



Palabras clave: Temperatura Caldera Numérico



Figura 80. Temperatura interna de la caldera representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Temperatura Interna Caldera - Gráfico

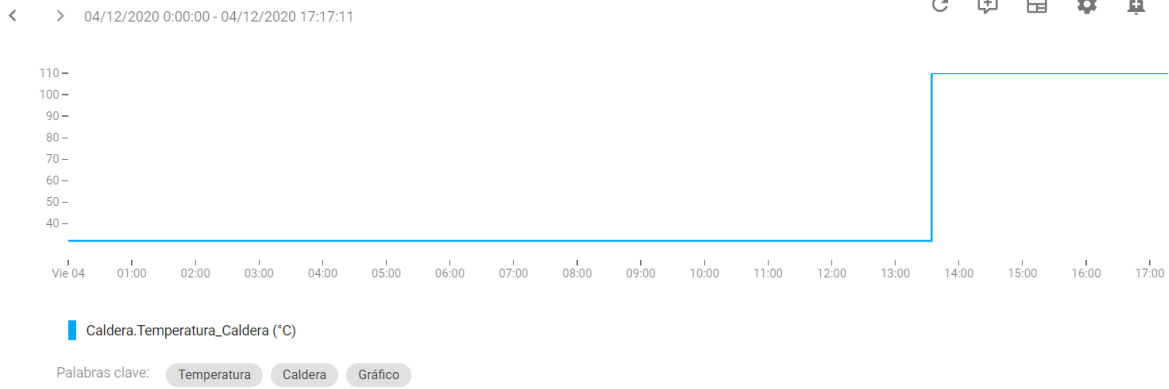


Figura 81. Temperatura interna de la caldera representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

Posiciones Servomotores Caldera

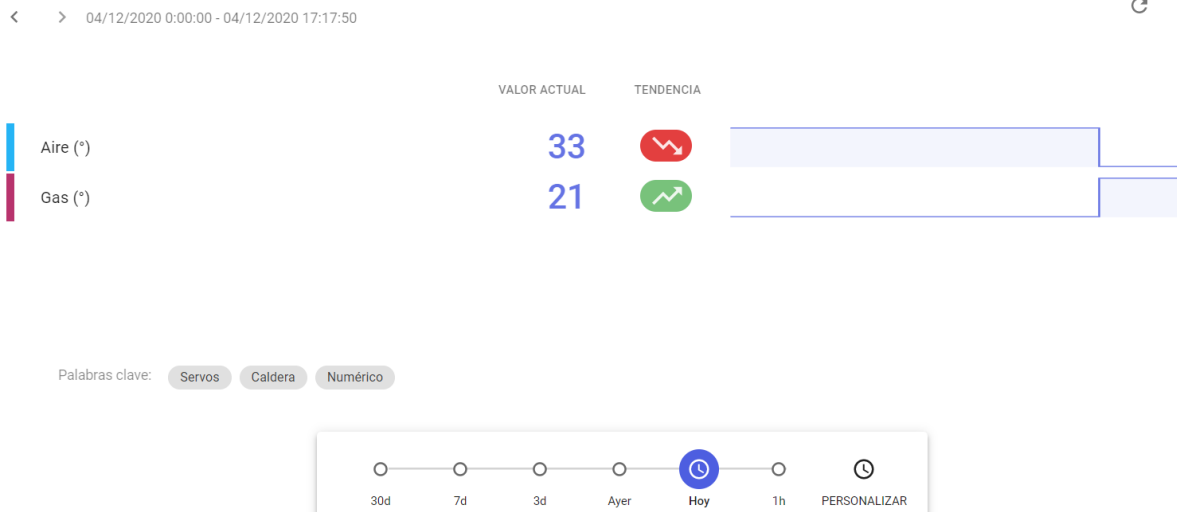
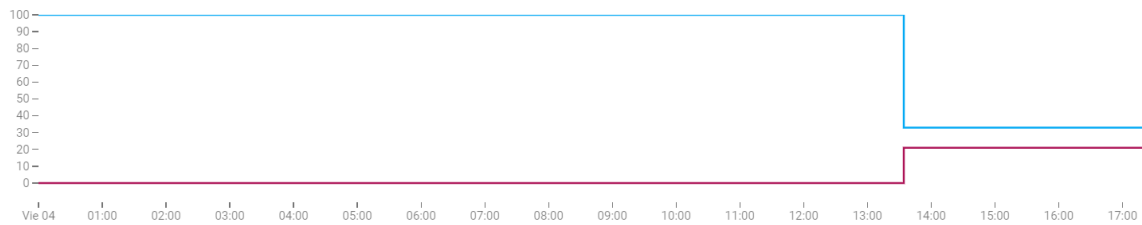


Figura 82. Posición de los servomotores de gas y de aire representación numérica.

Fuente: elaboración propia.

Posiciones Servomotores Caldera - Gráfico

< > 04/12/2020 0:00:00 - 04/12/2020 17:18:26



Aire (*)

Gas (*)

Palabras clave:



Figura 83. Posición de los servomotores de gas y de aire representación gráfica.

Fuente: elaboración propia.

10.3 Vídeo de validación del proyecto.

En el siguiente enlace se puede visualizar el vídeo que muestra las pruebas que se realizaron en la casa de máquinas del Hospital de San Carlos conectando directamente la caldera y el sistema de bombeo para comprobar el correcto funcionamiento del proyecto:

https://estudiantecr-my.sharepoint.com/:v/g/personal/juanvargas_estudiantec_cr/EUWDyjLul2VHqB3l4Kly6PkBEesgd2Lvl2L7fy4ASx8Row?e=jlzwov