



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LAVADO DE  
TURBOCOMPRESOR Y TURBOCARGADOR EN MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA HYUNDAI 9H21/32 EN LA CENTRAL  
TERMOELÉCTRICA QUEVEDO II.**

**AUTOR**

**Ing. Chiluiza García Freddy Giovanni**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del grado académico en  
MAGISTER EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**TUTOR**

**Ing. BUSTOS GAIBOR SAMUEL, MSc.**

**Santa Elena, Ecuador**

**Año 2024**



**UPSE**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. ALICIA ANDRADE VERA, MSc.  
COORDINADORA DEL  
PROGRAMA**

---

**Ing. SAMUEL BUSTOS GAIBOR,  
MSc.  
TUTOR**

---

**Ing. LUIS CHUQUIMARCA  
JIMÉNEZ, MSc.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Ing. JOSÉ SÁNCHEZ AQUINO, MSc.  
DOCENTE  
ESPECIALISTA**

---

**Abg. María Rivera, MSc.  
SECRETARIO GENERAL  
UPSE**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que luego de haber dirigido científica y técnicamente el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por el cual apruebo en todas sus partes el presente trabajo de titulación que fue realizado en su totalidad por el Ing. Chiluiza García Freddy Giovanni, como requerimiento para la obtención del título de Magister en Electrónica y Automatización.

**TUTOR**

---

**Ing. SAMUEL BUSTOS GAIBOR,  
MSc.**

**Santa Elena, 21 de junio de 2024**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Freddy Giovanni Chiluza García**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, Diseño de un sistema automatizado para lavado de turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9H21/32 en la central termoeléctrica Quevedo II, previo a la obtención del título en Magister en Electrónica y Automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, 21 de junio de 2024

**EL AUTOR**

---



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO**

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado Diseño de un sistema automatizado para lavado de turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9H21/32 en la central termoeléctrica Quevedo II, presentado por el estudiante, Chiluita García Freddy Giovanni, fue enviado al Sistema Antiplagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 3%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

Formato - Examen Complexivo -  
Componente Practico (1)

3%  
Textos  
sospechosos

6% Similitudes  
(ignorado)  
0% similitudes  
entre comillas  
0% entre las  
fuentes  
mencionadas  
3% Idiomas no  
reconocidos

Nombre del documento: Formato - Examen Complexivo - Componente Practico (1).docx ID del documento: 8b6637613787ed52bf989f66c3bb5fb5d95622b6 Tamaño del documento original: 7,92 MB	Depositante: SAMUEL BALDOMERO BUSTOS GAIBOR Fecha de depósito: 21/5/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 21/6/2024	Número de palabras: 8121 Número de caracteres: 55.936
---	--	--

**TUTOR**

---

**Ing. SAMUEL BUSTOS GAIBOR, MSc.**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA  
DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Freddy Giovanni Chiluiza García**

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de artículo profesional de alto nivel con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este artículo académico dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor

Santa Elena, 21 de junio de 2024

**EL AUTOR**

---

**Ing. Freddy Chiluiza García**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre, quien con su esfuerzo y sacrificio ha logrado forjar un profesional útil para la sociedad, capaz de innovar y contribuir al desarrollo del Ecuador.

Quiero también ser grato con mi ayuda idónea, mi esposa abogada Hilda Álava, quien es mi ejemplo de vida y servicio para con Dios.

Y por último agradecer al Economista Rafael Correa Delgado, ya que, gracias a sus políticas públicas pude acceder a la educación gratuita y desenvolverme profesionalmente en un trabajo estable en una de sus tantas mega obras.

*Ing. Freddy Chiluiza García*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi esposa, quien lucha incansablemente a mi lado y es un ejemplo vivo de sacrificio, entrega y servicio para Dios, su esfuerzo y pureza de corazón me inspiran a ser mejor cada día y a alcanzar esa paz que solo Dios puede dar a sus hijos.

En el transcurso de esta maestría pude superar problemas relacionados al Cáncer y lesiones puntuales, pero mi familia siempre estuvo apoyándome y dándome ánimos para seguir, por tanto, quiero dedicarles este logro a ellos.

*Ing. Freddy Chiluiza García*

# ÍNDICE GENERAL

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	IV
CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO .....	V
AUTORIZACIÓN.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA .....	VIII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	17
OBJETIVOS.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
1.1. Marco Teórico conceptual.....	19
1.1.1 El turbocompresor.....	19
1.1.2 Funcionamiento del turbocargador .....	20
1.1.3 Averías del turbocargador.....	21
1.1.4 Proceso de limpieza de turbocompresor y turbocargador.....	22
1.1.5 Limpieza manual de turbocargador .....	22
1.1.6 Riesgos asociados al mantenimiento del turbocompresor .....	23
1.1.7 Automatismo.....	23
1.1.8 Beneficios de la automatización Industrial. ....	23
1.1.9 El autómeta programable PLC.....	23

1.1.10	Lenguajes de programación del PLC .....	24
1.1.11	El contactor .....	25
1.1.12	El Relé .....	25
1.1.13	TIA Portal.....	26
1.1.14	S7-PLCSIM.....	27
1.1.15	Node-Red .....	27
1.1.16	Interfaz Hombre – Maquina (HMI) mediante Blynk .....	28
1.1.17	ThingSpeak para proyectos de IoT .....	29
1.1.18	Protocolos de comunicación industrial .....	29
1.1.19	FluidSIM-Neumática.....	30
1.1.20	Electroválvulas neumáticas .....	30
1.1.21	Actuador neumático .....	31
1.2	Antecedentes .....	32
1.3	Beneficios de la aplicación práctica.....	33
<b>2</b>	<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>35</b>
2.1	Plan de la implementación (UNE, 2023) .....	35
2.1.1	Interfaz Profinet .....	35
2.1.2	Metodología.....	36
2.1.3	Resultados esperados .....	37
2.2	Descripción de la solución planteada.....	37
2.2.1	Descripción del proceso de implementación del proyecto .....	37
2.2.2	Componentes físicos .....	38
2.2.3	Actuador neumático HKC HP 063 .....	39
2.2.4	Válvula solenoide simple 5/2 Parker 341Y312UNMO .....	40
2.2.5	Diseño de la propuesta.....	40
2.2.6	Programación del PLC.....	41
2.2.7	Diagrama de flujo del proceso .....	44
2.3	Puesta en marcha de la solución.....	44
2.3.1	Programación en lenguaje de contactos Ladder en TIA Portal .....	45
2.3.2	Creación de Data Blocks (DBs) TON para control de tiempos de lavado 46	
2.3.3	Creación de nuevos tags para simulación de variables.....	47

2.3.4	Creación de Data Blocks para control cíclico de parámetros simulados ..	47
2.3.5	Utilización de PLC SIM para simular el programa .....	48
2.3.6	Programación de nodos de conexión en Node-RED .....	49
2.3.7	Programación de nodos en Node-RED para conexión con ThingSpeak ..	50
2.3.8	Creación de canal en ThingSpeak.....	51
2.3.9	Programación de Blynk .....	52
2.3.10	Conexión del PLC SIM con Node-RED y Blynk .....	52
2.3.11	Desarrollo de la aplicación móvil .....	53
2.3.12	Simulación en FESTO FluidSIM neumática.....	54
<b>3</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Doble efecto actuador HKC HP torque (Nm)</i> .....	40
----------------	---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Turbocargador HPR5000 .....	19
<b>Figura 2</b>	<i>Funcionamiento del turbocargador</i> .....	20
<b>Figura 3</b>	<i>Turbocargador con incrustaciones y depósitos de hollín</i> .....	21
<b>Figura 4</b>	<i>Limpieza manual turbocargador</i> .....	22
<b>Figura 5</b>	<i>SIMATIC S7-1200</i> .....	24
<b>Figura 6</b>	<i>Contactador</i> .....	25
<b>Figura 7</b>	<i>Relé</i> .....	26
<b>Figura 8</b>	<i>TIA Portal</i> .....	26
<b>Figura 9</b>	<i>Node-Red</i> .....	28
<b>Figura 10</b>	<i>Blynk</i> .....	29
<b>Figura 11</b>	<i>Electroválvula 5/2 vías</i> .....	31

<b>Figura 12</b> <i>Actuador neumático</i> .....	31
<b>Figura 13</b> <i>SIMATIC S7-1200</i> .....	38
<b>Figura 14</b> <i>Actuador neumático de la serie HP</i> .....	39
<b>Figura 15</b> <i>Válvula Parker 341y312UNMO</i> .....	40
<b>Figura 16</b> <i>Diagrama de flujo del proceso</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama esquemático del proceso</i> .....	44
<b>Figura 18</b> <i>Programación en lenguaje de contactos Ladder</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Data Blocks (DBs) TON</i> .....	46
<b>Figura 20</b> <i>Creación de nuevos tags para simulación de variables</i> .....	47
<b>Figura 21</b> <i>Data Blocks para control cíclico</i> .....	48
<b>Figura 22</b> <i>S7-PLCSIM V18</i> .....	48
<b>Figura 23</b> <i>Programación de nodo S7 en Node-RED</i> .....	49
<b>Figura 24</b> <i>Flujo de programación visual en Node-Red</i> .....	50
<b>Figura 25</b> <i>Programación de nodos en Node-RED para conexión con ThingSpeak</i> .....	51
<b>Figura 26</b> <i>Creación de canal en ThingSpeak</i> .....	51
<b>Figura 27</b> <i>Programación de Blynk</i> .....	52
<b>Figura 28</b> <i>Conexión del PLC SIM con Node-RED y Blynk</i> .....	52
<b>Figura 29</b> <i>Aplicación móvil</i> .....	53
<b>Figura 30</b> <i>Simulación en FESTO FluidSIM</i> .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A. Valores de funcionamiento para el lavado de turbinas</b> .....	58
<b>Anexo B. Lavado de turbina</b> .....	59
<b>Anexo C. Datos técnicos PLC SIMATIC S7-1200.</b> .....	60
<b>Anexo D. Hoja de datos válvula neumática PARKER 341Y312UNMO</b> .....	60
<b>Anexo E. Programación para el lavado de turbocargador y turbocompresor mediante lenguaje de contactos Ladder EN TÍA Portal.</b> .....	61

## **RESUMEN**

El proyecto tiene como objetivo principal automatizar el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9H21/32 en la Central Termoeléctrica Quevedo II. Se propone utilizar controladores lógicos programables (PLC) y dispositivos neumáticos de control para minimizar los riesgos inherentes al proceso de lavado manual, mejorando así la eficiencia y seguridad del mantenimiento preventivo. Para lograr este objetivo, se plantea desarrollar un sistema que simule y controle el proceso de lavado, utilizando programas como FluidSIM para la simulación neumática y el TIA Portal V18 para la programación del PLC Siemens S7-1200. Además, se implementará una interfaz hombre-máquina (HMI) con Blynk para que el operador pueda monitorear y controlar el proceso en tiempo real desde dispositivos móviles.

El proyecto se basa en la necesidad de eliminar los riesgos asociados con el lavado manual, como la exposición a productos químicos, temperaturas extremas y riesgos de caídas, mientras se mejora la eficiencia operativa y se reduce el tiempo de inactividad del equipo. La implementación de esta solución automatizada promete mejorar la seguridad y salud laboral de los operadores, reducir los costos de mantenimiento y optimizar el proceso de limpieza, prolongando así la vida útil del equipo y mejorando la producción de energía en la central termoeléctrica. Se propone un plan de implementación que incluye la programación del PLC, la simulación del proceso, la integración de sistemas con Node-RED y la puesta en marcha de la solución. Además, se destacan los beneficios de la aplicación práctica, como la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos

de mantenimiento, la seguridad y salud laboral, la optimización del proceso de limpieza y el monitoreo en tiempo real.

En conclusión, el proyecto presenta una solución completa y tecnológicamente avanzada para automatizar el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador, brindando beneficios significativos en términos de eficiencia, seguridad y salud laboral. Se recomienda proporcionar capacitación adecuada al personal y realizar un mantenimiento preventivo regular para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo. Además, se destaca el papel de ThingSpeak en la mejora continua del proyecto.

**Palabras claves:** Turbocompresor, Turbocargador.

## **ABSTRACT**

The main objective of the project is to automate the washing process of the turbocharger and turbocharger in Hyundai 9H21/32 internal combustion engines at the Quevedo II Thermoelectric Plant. The proposal is to use programmable logic controllers (PLC) and pneumatic control devices to minimize the inherent risks of manual washing, thus improving the efficiency and safety of preventive maintenance.

To achieve this goal, a system is proposed to simulate and control the washing process, using programs like FluidSIM for pneumatic simulation and TIA Portal V18 for programming the Siemens S7-1200 PLC. Additionally, a human-machine interface (HMI) with Blynk will be implemented so that the operator can monitor and control the process in real-time from mobile devices.

The project is based on the need to eliminate risks associated with manual washing, such as exposure to chemicals, extreme temperatures, and fall hazards, while improving operational efficiency and reducing equipment downtime. The implementation of this automated solution promises to improve operators' occupational safety and health, reduce maintenance costs, and optimize the cleaning process, thereby extending equipment life and improving energy production at the thermoelectric plant.

A deployment plan is proposed, including PLC programming, process simulation, system integration with Node-RED, and solution deployment. Furthermore, the practical application benefits are highlighted, such as improved operational efficiency, reduced maintenance costs, occupational safety and health, cleaning process optimization, and real-time monitoring.

In conclusion, the project presents a comprehensive and technologically advanced solution to automate the turbocharger and turbocharger washing process, providing significant benefits in terms of efficiency, safety, and occupational health. It is recommended to provide adequate training to personnel and perform regular preventive maintenance to ensure optimal system operation over time. Additionally, the role of ThingSpeak in the continuous improvement of the project is emphasized.

**Keywords:** Turbocompresor, Turbocharger.

# INTRODUCCIÓN

El turbocompresor tiene una función muy importante en la eficiencia y rendimiento de un motor-generador Hyundai 9H21/32 en la Central de Generación Termoeléctrica Quevedo II, hace pasar aire por los alabes de la turbina para aumentar su volumen en la cámara de combustión, y fluye a los cilindros del motor para mezclarse con combustible y expandirse para producir energía térmica. A más flujo de aire, mayor será la potencia del motor (Chen et al., 2022). No obstante, el mantenimiento de conservación preventivo del turbocargador y turbocompresor presenta grandes desafíos, más aún en lo relacionado a seguridad y salud laboral de los operarios que realizan la maniobra de limpieza de forma manual.

El lavado del turbocompresor y turbocargador consiste en inyectar agua sobre los álabes de las turbinas para desprender las incrustaciones de hollín, lo que garantiza un funcionamiento óptimo y prolonga la vida útil del equipo. Sin embargo, el ejecutar las maniobras de mantenimiento de forma manual expone al operador a diferentes riesgos como: exposición a niveles elevados de CO<sub>2</sub>, que puede desencadenar el padecimiento de cáncer de pulmón, temperaturas extremas (quemaduras), ruido intenso (pérdida de audición), vibraciones excesivas, y riesgo de caídas por pisos resbaladizos y a desnivel (Slovak, 2012).

Por lo expuesto, es importante encontrar una solución a esta problemática mediante la automatización industrial. En respuesta a esta problemática y desafío planteado, se propone una solución eficaz mediante la simulación, modelado y automatización industrial del proceso de limpieza del turbocompresor y turbocargador. Esta solución aborda la creación de un modelo que simule la operación de limpieza utilizando programas como Fluid Sim neumática (Festo Didactic GmbH & Co. KG , 2007).

También, se implementa un controlador basado en PLC (Controlador Lógico Programable) que controle y supervise de forma automatizada el proceso de lavado, gestionando los tiempos de inyección de agua mediante electroválvulas neumáticas (García, 2009).

Como parte final del proyecto, se integrará una interfaz hombre-máquina (HMI) para que el operador tenga el control de la operación de lavado de turbo compresor y turbo cargador en tiempo real y pueda monitorear su ejecución. Esta solución mediante automatización industrial no solo mejorará la eficiencia de la maniobra de mantenimiento preventivo, sino que además reducirá en un porcentaje significativo los riesgos a los que estaba sometido el personal de operaciones, garantizando la seguridad y salud en el trabajo.

Como resultado se obtendrá un sistema de limpieza de turbo compresor y turbocargador que inyecte agua a presión mediante toberas hacia los alabes de las turbinas y ayude a quitar las incrustaciones de hollín para mantener en óptimas condiciones el elemento que forma parte del sistema de alimentación de aire del motor-generador de la central termoeléctrica Quevedo II.

La importancia de este trabajo alcanza un área más extensa que solamente la automatización industrial, siendo de gran importancia tanto a nivel profesional, social y científico. A nivel profesional, se impulsa la utilización de tecnologías avanzadas que aumenten la productividad y eficiencia en la industria. A nivel social, se crea un área de trabajo más saludable y segura, preservando la integridad mental y física de los operadores (Slovak, 2012). Y a nivel científico, se coopera al avance de la ingeniería y la automatización industrial, creando metodologías y conocimientos aplicables a otros tipos de escenarios o motores que tengan un turbocompresor dentro de su sistema de alimentación de aire.

# OBJETIVOS

## Objetivo General

Automatizar el sistema de lavado de turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9H21/32 en la Central Termoeléctrica Quevedo II, mediante la aplicación de controladores Lógicos programables y dispositivos neumáticos de control para minimizar los riesgos inherentes al proceso de lavado manual.

## Objetivos Específicos

- Programar un PLC mediante lenguaje Ladder para el control del proceso.
- Simular el sistema neumático para el control de fluidos utilizando el software FLUID SIM.
- Implementar un HMI para que el operario tenga el control del proceso en tiempo real.

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1. Marco Teórico conceptual

#### 1.1.1 El turbocompresor

El turbocompresor es un elemento mecánico compuesto por alabes en modo turbina que al girar aumenta la eficiencia y la potencia de los motores de ciclo otto (ver Figura 1), inyectando mayor cantidad de aire a mayor presión a la cámara de combustión(Heywood, 2018).

#### Figura 1

*Turbocargador HPR5000*



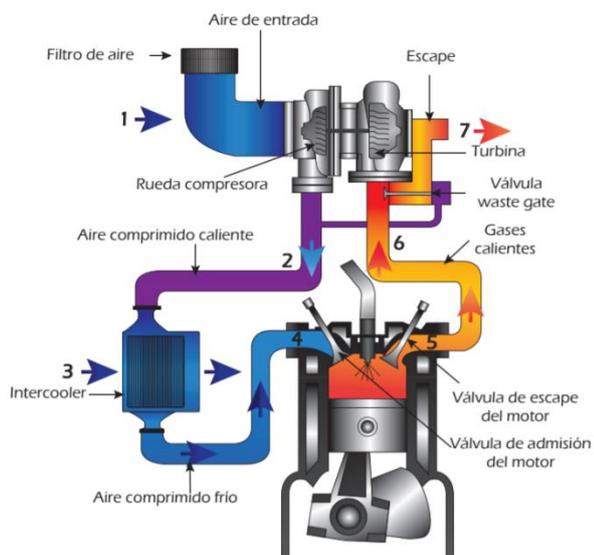
**Nota.** Adaptado de Turbocargador HPR5000 (fotografía) por © Kompressorenbau Bannewitz GmbH, 2024, KBB (<https://kbb-turbo.com/turbocharger-product-series/hpr-serie>).

### 1.1.2 Funcionamiento del turbocargador

El turbocargador aprovecha la energía de una turbina que gira impulsada por los gases de escape del motor de combustión interna, y que a su vez hace girar al turbocompresor para que inyecte aire comprimido a la cámara de combustión (ver Figura 2). Esta acción se conoce como sobrealimentación y permite aumentar la eficiencia volumétrica y la potencia del motor (Heywood, 2018).

**Figura 2**

*Funcionamiento del turbocargador*



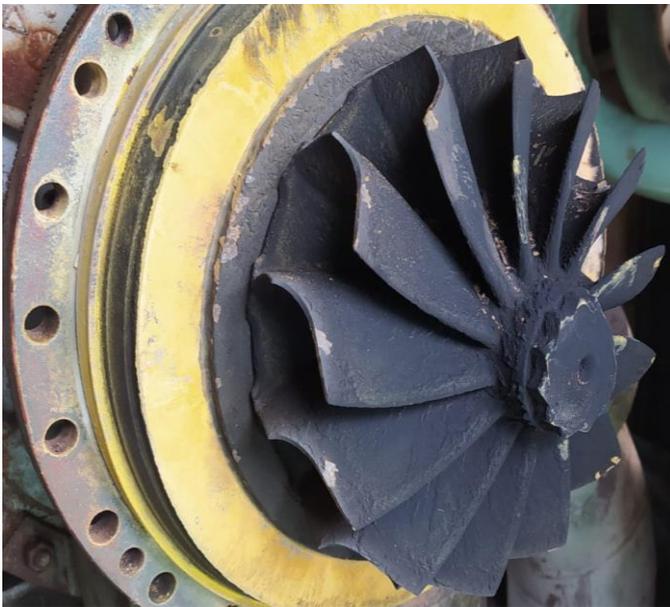
**Nota.** Adaptado de *Funcionamiento del turbocargador (imagen)*, por © Nakajima / Turbocharger Company, 2021, NAKAJIMA ROTORMAX ([Home - Nakajima - Rotormax | Turbocompresor \(nakajimaturbo.com\)](http://Home - Nakajima - Rotormax | Turbocompresor (nakajimaturbo.com))).

### 1.1.3 Averías del turbocargador

El ensuciamiento de los alabes de las turbinas en el turbocargador y turbocompresor se da por las partículas de hollín producto del proceso de expansión dentro de la cámara de combustión del motor, estas partículas se van acumulando y afectan el funcionamiento adecuado de este sistema de compresión de aire (ver Figura 3). A medida que avanza el tiempo de operación, el material particulado acumulado en los albes provoca averías cómo desbalance del turbo y bajo rendimiento (El autor).

#### Figura 3

*Turbocargador con incrustaciones y depósitos de hollín*



**Nota.** *Turbocargador con incrustaciones y depósitos de hollín*, por el autor.

#### 1.1.4 Proceso de limpieza de turbocompresor y turbocargador

La limpieza del turbocompresor consiste en inyectar agua a alta presión a los álabes del turbocompresor, el agua para el proceso de limpieza es depositada en un contenedor propio del motor y al abrir una válvula se inyecta directamente a la turbina. La limpieza del turbocargador consiste en inyectar agua a presión mediante toberas hacia los álabes del turbo cargador por un determinado tiempo y numero d veces determinadas por el fabricante acorde al **Anexo A**, este proceso permite quitar el hollín incrustado en los álabes de la turbina. Para realizar este mantenimiento el operador debe accionar una serie de válvulas para drenaje y para inyección de agua como se muestra en el **Anexo B**.

#### 1.1.5 Limpieza manual de turbocargador

Como se muestra en la Figura 4, la limpieza manual del turbocargador es realizada por personal de mantenimiento y consiste en retirar de forma manual las incrustaciones o depósitos de hollín de los alabes y eje de la turbina.

#### Figura 4

*Limpieza manual turbocargador*



**Nota.** *En el gráfico de indica la limpieza manual del turbocargador, por el autor.*

### **1.1.6 Riesgos asociados al mantenimiento del turbocompresor**

Realizar el mantenimiento del turbocompresor y turbocargador representa riesgos significativos para la seguridad y salud de los operadores. Los riesgos de realizar esta maniobra son: exponerse a productos químicos, lesiones, temperaturas extremas, vibración y caídas a diferentes alturas(Brauer, 2006).

### **1.1.7 Automatismo.**

Se denomina automatismo a un circuito que puede realizar determinadas tareas o secuencias lógicas de forma autónoma sin que el hombre intervenga (García, 2009). Se dividen en automatismos cableados y programados definiéndolos la conexión lógica por medio de conductores cableados en el primer caso y un programa que procesa ordenes en una memoria de un dispositivo electrónico que ejecuta información a diversos elementos que están conectados (García, 2009).

### **1.1.8 Beneficios de la automatización Industrial.**

La automatización es de gran utilidad y beneficio en la industria al ofrecer grandes ventajas como: reducción de costos operativos, mejora de eficiencia y productividad, y mejora la seguridad al reducir las interacciones del trabajador en tareas de alto riesgo. La automatización de un sistema industrial podría aumentar la productividad hasta el 30% y reducir los accidentes laborales hasta el 50% (Lamb, 2013).

### **1.1.9 El autómeta programable PLC**

El autómeta programable, conocido también como PLC (Controlador logio programable), es un controlador electrónico que puede manejar diferentes circuitos automatizados de forma secuencial programada en el área industrial (García, 2009) (ver Figura 4).

## Figura 5

### SIMATIC S7-1200



*Nota:* Adaptado de *tía-portal*, por SIEMENS, 2024, siemens.com Global Website (<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>).

Los controladores lógicos programables permiten gestionar señales de variables físicas de forma inteligente, estas señales provienen de diferentes procesos industriales (García, 2009).

#### 1.1.10 Lenguajes de programación del PLC

El lenguaje de programación se encarga de gestionar las instrucciones del PLC para ejecutar las funciones lógicas y de cálculo (García, 2009).

- **Lenguaje Ladder:** Se basa en lenguaje de contactos básicos en forma de escalera (García, 2009).
- **Lenguaje Booleano:** Se escribe en forma de texto utilizando mediante caracteres alfanuméricos con las que se definen las líneas de ejecución lógicas (García, 2009).
- **Diagrama de funciones:** Permite programar en bloques de funciones del controlador de forma que aparecen interconectadas (García, 2009).

### 1.1.11 El contactor

El contactor, es un elemento electromagnético, que se usa para cerrar o abrir circuitos de forma remota. Gestiona la alimentación de motores eléctricos y otros dispositivos, como sistemas de resistencias o líneas de luminarias (ver Figura 6). Existen varios tipos y dimensiones de contactores en el mercado, adaptados a diferentes circuitos, aunque todos se conectan de manera similar (García, 2009).

**Figura 6**

*Contactor*



**Nota.** En la fotografía se representa un contactor eléctrico.

### 1.1.12 El Relé

El relé industrial, también conocido como relé, opera de manera análoga a los contactores, cuenta con un circuito electromagnético y un conjunto de contactos (ver Figura 7). En la mayoría de los casos, los relés están equipados con contactos y circuitos electromagnéticos que se montan en un cabezal transparente, el cual se inserta en un

zócalo provisto de bornes de conexión. Este diseño permite el reemplazo sin necesidad de desconectar los cables (García, 2009).

**Figura 7**

*Relé*



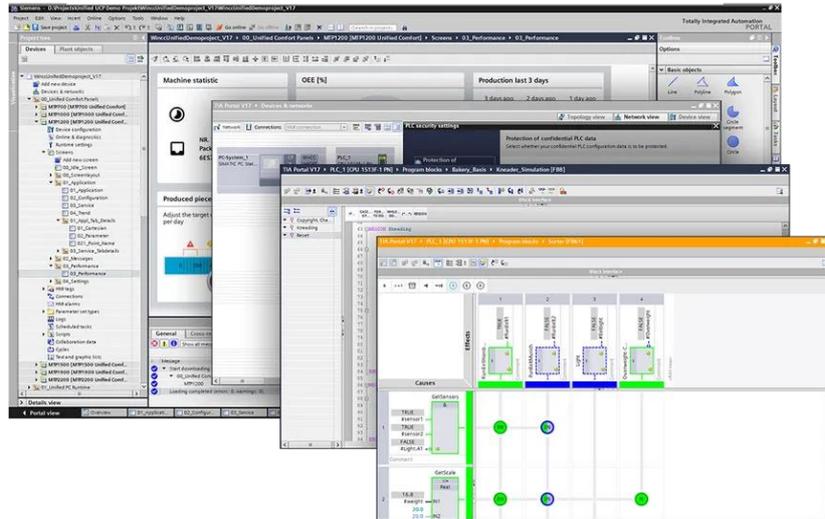
**Nota.** En la fotografía se muestra el relé eléctrico.

### **1.1.13 TIA Portal**

Es un software de Siemens que facilita la configuración y programación de sistemas de automatización. Integra diversas herramientas en una sola plataforma, simplifica el diseño, mantenimiento y programación de dispositivos como IHMs, variadores y PLCs (ver Figura 8). Es una solución unificada para el desarrollar sistemas automatizados (SIEMENS, 2024).

**Figura 8**

*TIA Portal*



**Nota.** En la figura se muestra la interfaz de TIA Portal.

### 1.1.14 S7-PLCSIM

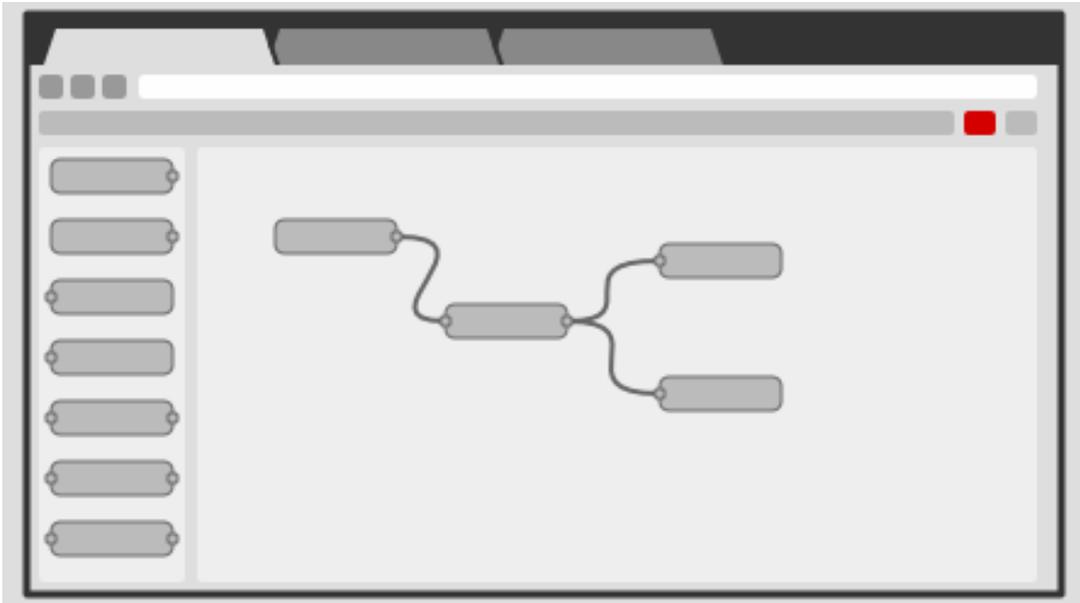
Es una herramienta de simulación integrada al TIA Portal de Siemens, permite la verificación y de los PLCs Siemens S7-1200 y S7-1500 antes de su implementación en campo. Proporciona una simulación a detalle que ayuda a revisar la lógica de programación y hacer pruebas, contribuyendo a la reducción de los costos y tiempos por la automatización (SIEMENS, 2024).

### 1.1.15 Node-Red

Se basa en una programación a partir de flujos, muestra el comportamiento de una aplicación en forma de una red de nodos, en cada nodo se indica un proceso y los nodos conectados entre sí facilitan el flujo de información (ver Figura 9), siendo su enfoque de programación altamente visual (OpenJS Foundation & Contributors, 2019) .

## Figura 9

*Node-Red*



**Nota.** En la figura se muestra la interfaz de programación mediante bloques de Node-red.

### 1.1.16 Interfaz Hombre – Maquina (HMI) mediante Blynk

Blynk es un software de IOT que permite crear aplicaciones móviles cuya característica es ser una plataforma de la nube de bajo costo y dar experiencias excepcionales de dispositivos, iniciando desde un prototipo hasta la implementación industrial (Blynk Inc., 2024) (ver Figura 10).

## Figura 10

*Blynk*



**Nota.** La figura representa la conectividad entre dispositivos mediante Blynk.

### 1.1.17 ThingSpeak para proyectos de IoT

ThingSpeak constituye un servicio de plataforma de análisis de Internet de las Cosas (IoT) que permite visualizar y analizar al instante los flujos de datos en tiempo real en una infraestructura en la nube. Los datos pueden ser transmitidos a ThingSpeak desde dispositivos habilitados para IoT, lo que permite la generación instantánea de representaciones visuales y el despliegue de alertas (ThingSpeak, 2024).

### 1.1.18 Protocolos de comunicación industrial

Los protocolos de comunicación industrial hacen posible transmitir información entre procesos y dispositivos industriales. Son conjuntos de reglas que permiten intercambiar información o bloques de datos formando una red de comunicación una vez que están intercomunicados entre sí (Mayur Gandhi, 2020).

- **Profinet:** Protocolo más utilizado a nivel industrial, basado en el estándar ethernet mayormente utilizado en la automatización, es un protocolo flexible que permite la personalización de programas y dispositivos.
- **Ethernet:** Protocolo para ambientes industriales fuertes, ofrece velocidad, adaptabilidad y prueba de fallas.
- **Profibus:** Sus altas velocidades para transmitir lo hacen destacar, además de su durabilidad ante ambientes industriales muy fuertes, que incluyen riesgo de explosión.
- **AS-i:** Conocido por ser robusto y flexible, fue concebido para los niveles bajos de procesos de automatización y control. Se rige mediante la IEC 62026-2 por lo que conexión a controladores es muy sencilla.

#### **1.1.19 FluidSIM-Neumática**

Es un complemento importante para simulación de sistema neumáticos y funciona en el entorno de Windows, permite la elaboración de esquemas y su posterior simulación. Los diferentes elementos neumáticos se muestran de forma clara, con animación y con texto de identificación que facilita el diseño de sistemas neumáticos (Festo Didactic GmbH & Co. KG , 2007).

#### **1.1.20 Electroválvulas neumáticas**

Son un componente muy importante en sistemas de control y automatización industrial (ver Figura 11). Su función es suministrar aire a presión a diversos tipos de elementos neumáticos como cilindros neumáticos. Se diferencian por el número de puestos a utilizarse (Pustjens, 2017).

## **Figura 11**

*Electroválvula 5/2 vías*



**Nota.** En la figura se muestra una válvula electroneumática.

### **1.1.21 Actuador neumático**

Son empleados para controlar válvulas de mariposa o de bola, utilizan aire comprimido en lugar de una manivela (ver Figura 12). Son fiables y rápidos, tienen múltiples puntos de conexión DIN/ISO para colocar directamente una válvula. Pueden ser de simple efecto (retorno o apertura por muelle), o doble efecto (retorno o apertura por aire) (TAMESON, 2024).

## **Figura 12**

*Actuador neumático*



**Nota.** En la figura se muestra un actuador neumático de la marca de 3/4 de vuelta.

## **1.2 Antecedentes**

Durante los últimos 13 años, en la Central Termoeléctrica Quevedo II, el mantenimiento del turbocompresor y turbocargador se ha realizado de manera manual, lo que ha dado lugar a la acumulación de depósitos de hollín en los alabes de la turbina. Estos depósitos reducen la eficiencia del turbocompresor y turbocargador, lo que puede afectar negativamente el rendimiento del motor-generador Hyundai 9H21/32 y, en última instancia, la producción. Además de la acumulación de hollín, los operadores que realizan la limpieza manual están expuestos a niveles concentrados de CO<sub>2</sub> durante el proceso. Esta exposición prolongada a niveles elevados de CO<sub>2</sub> puede tener graves consecuencias para la salud de los operadores, incluido el riesgo de padecer cáncer de pulmón y otros problemas respiratorios.

La limpieza manual del turbocompresor y turbocargador, aunque ha sido el método predominante durante años, presenta riesgos significativos para la seguridad y la salud de los operadores, así como limitaciones en términos de eficiencia y calidad del mantenimiento. La exposición a productos químicos, las lesiones por caídas y las

quemaduras por temperaturas extremas son solo algunos de los riesgos asociados con este proceso.

Ante estos desafíos, se hace evidente la necesidad de implementar una solución más eficiente y segura para el mantenimiento del turbocompresor y turbocargador en la Central Termoeléctrica Quevedo II. La automatización industrial surge como una solución viable para abordar estos desafíos, al tiempo que mejora la eficiencia operativa y reduce los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores.

La implementación de un sistema automatizado de limpieza del turbocompresor y turbocargador, mediante el uso de controladores lógicos programables (PLC), simulación con software especializado como FluidSIM neumática, y una interfaz hombre-máquina (HMI), promete mejorar significativamente el proceso de mantenimiento preventivo. Esta solución no solo optimizará la eficiencia y la calidad de la limpieza, sino que también reducirá los riesgos asociados en el trabajo.

### **1.3 Beneficios de la aplicación práctica**

La importancia y los beneficios de la aplicación práctica son significativos y abarcan varios aspectos clave:

- **Mejora de la eficiencia operativa:** La automatización del proceso de limpieza del turbocompresor y turbocargador eliminará la necesidad de realizar esta tarea manualmente, lo que aumentará la eficiencia y reducirá el tiempo de inactividad del equipo. Esto resultará en una mayor disponibilidad del motor-generador y, en última instancia, en una mejora de la producción de energía en la Central Termoeléctrica Quevedo II.
- **Reducción de costos de mantenimiento:** Al minimizar la intervención manual, se reducirán los costos asociados con el mantenimiento del turbocompresor y

turbocargador. La automatización disminuirá la necesidad de mano de obra especializada y también reducirá los gastos relacionados con la salud y seguridad ocupacional de los trabajadores.

- **Seguridad y salud laboral:** La principal preocupación al realizar el mantenimiento manual es la exposición de los trabajadores a riesgos como el contacto con productos químicos, temperaturas extremas, ruido intenso, riesgos de caídas y exposición prolongada a CO<sub>2</sub>. La automatización industrial mitigará estos riesgos al eliminar la necesidad de que los operadores realicen tareas peligrosas.
- **Optimización del proceso de limpieza:** La simulación y modelado del proceso de limpieza utilizando FluidSIM neumática permitirá una optimización precisa de la secuencia de operaciones y los parámetros del sistema. Esto garantizará una limpieza más efectiva y completa del turbocompresor y turbocargador, prolongando su vida útil y manteniendo un rendimiento óptimo del motor-generador.
- **Monitoreo y control en tiempo real:** La implementación de una interfaz hombre-máquina (HMI) permitirá a los operadores monitorear y controlar el proceso de limpieza de forma remota y en tiempo real. Esto proporcionará una mayor flexibilidad operativa y facilitará la detección temprana de cualquier anomalía o problema en el sistema.

## 2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 Plan de la implementación (UNE, 2023)

El diseño de un sistema automatizado para lavado de turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9h21/32 en la central termoeléctrica Quevedo II tiene como punto crítico la programación de un controlador lógico programable PLC, mismo que se encargará de controlar el proceso, mediante la recolección de información de los dispositivos que participen el proceso de lavado.

En la automatización existen normas que se deben utilizar para la interfaz HMI hombre máquina, las que se utilizaran son:

- **Norma IEC 62682:** Esta norma internacional ofrece directrices para la implementación y diseño de sistemas de alarmas eficaces en entornos industriales automatizados (ISA, 2024).
- **ISO 9241-210/2019:** Basada en los principios de la ergonomía de la interacción hombre-sistema, esta norma se centra en la elaboración de sistemas de fácil comprensión y manejo, además de seguros y eficientes (UNE, 2019).
- **ISA 101:** Proporcionada por la Sociedad Internacional de Automatización, esta orientación específica se enfoca en la creación de interfaces hombre-máquina (HMI) (UNE, 2023).

#### 2.1.1 Interfaz Profinet

El protocolo Profinet de comunicación sigue la norma IEC 61158 para la automatización de procesos en la industria. Facilita la conexión de múltiples dispositivos utilizando Ethernet estándar y es compatible con conexiones que van desde el nivel de gestión hasta el nivel de campo, como un PLC. La comunicación a través de la interfaz permite una

sincronización precisa entre sensores y actuadores en entornos industriales, siendo vital para su funcionamiento en tiempo real.

### **2.1.2 Metodología**

#### **Investigación aplicada**

La investigación aplicada se enfocará en el diseño de un sistema automatizado para el lavado de turbocompresores y turbocargadores en motores de combustión interna Hyundai 9H21/32, específicamente para su aplicación en la Central Termoeléctrica Quevedo II. Esta investigación se basará en la recopilación de información técnica relevante sobre los procesos de lavado de estos componentes y las mejores prácticas en el mantenimiento de motores de combustión interna.

#### **Tratamiento de datos**

**Recopilación de Datos:** Se recopilará información técnica detallada sobre los motores de combustión interna Hyundai 9H21/32, incluyendo especificaciones, diagramas de funcionamiento y detalles sobre los turbocompresores y turbocargadores utilizados en estos motores. Además, se investigarán los procedimientos y equipos recomendados para el lavado de estos componentes en aplicaciones industriales similares.

**Selección de Información y Herramientas:** Se seleccionarán los datos más relevantes y las herramientas adecuadas para el diseño del sistema automatizado de lavado. Esto incluirá los equipos necesarios para el lavado eficiente y seguro del turbocompresor y turbocargador, así como la evaluación de tecnologías de control y monitoreo automático.

**Análisis de Resultados:** Se analizarán los datos recopilados en tiempo real para identificar el correcto lavado de turbocompresor y turbocargador. Además, se evaluarán

los posibles beneficios en términos de eficiencia operativa y prolongación de la vida útil del elemento del sistema de sobre alimentación de aire.

### **2.1.3 Resultados esperados**

Al diseñar el sistema automatizado para lavado de turbocompresor y turbocargador en motores de combustión interna Hyundai 9h21/32 en la central termoeléctrica Quevedo II, se espera lograr la automatización completa del sistema de lavado, minimizando así los riesgos asociados al proceso de lavado manual y mejorando la eficiencia y seguridad en la operación de mantenimiento preventivo. Además, se desarrollará una aplicación móvil que permitirá al personal de operaciones controlar el proceso de lavado de manera remota desde cualquier lugar dentro de la central en coordinación con el operador de sala de control, brindando una mayor flexibilidad y comodidad en la gestión del mantenimiento del equipo.

## **2.2 Descripción de la solución planteada.**

### **2.2.1 Descripción del proceso de implementación del proyecto**

Se automatizará el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador mediante un sistema basado en el PLC Siemens S7-1200, con herramientas como Blynk, Node-RED, TIA Portal V18, S7-PLCSIM V18, netToPLCsim y FluidSIM Neumática 4.5, dando una solución completa y tecnológicamente avanzada para la automatización del proceso de lavado. El uso de estas herramientas garantiza un sistema eficaz, seguro y fácil de usar, mismo que se describe a continuación:

- **Diseño del Sistema de Control PLC:** Configuración y programación del PLC Siemens S7-1200 a través de TIA Portal V18 para gestionar el proceso de lavado y controlar las electroválvulas neumáticas.

- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI) con Blynk:** Desarrollo de una interfaz gráfica intuitiva con Blynk para monitoreo y control del proceso de lavado desde dispositivos móviles.
- **Integración de Sistemas con Node-RED:** Uso de Node-RED para la comunicación entre el PLC, la interfaz móvil y otros componentes del sistema.
- **Simulación:** Prueba del programa de control en un entorno virtual con S7-PLCSIM V18 y TIA Portal y simulación del sistema neumático con FluidSIM Neumática 4.5 para garantizar un diseño óptimo.

### 2.2.2 Componentes físicos

#### **Controlador SIEMENS S7-1200**

El controlador S7-1200 de SIEMENS es la opción más acertada para dar soluciones de automatización con opciones ampliadas de comunicación (ver Figura 13). Tiene altos estándares para la automatización industrial y además posee gran precisión (SIEMENS, 2024). Las características se acoplan al proyecto planteado, acorde las especificaciones técnicas del **Anexo C**.

#### **Figura 13**

*SIMATIC S7-1200*



**Nota.** En la figura se muestra el controlador lógico programable SIMATIC S7-1200.

### 2.2.3 Actuador neumático HKC HP 063

El actuador neumático HKC HP 063 compactos, de alto ciclo y alta calidad, de doble cremallera y piñón (HKC Co., Ltd, 2021) (ver Figura 14).

#### Figura 14

*Actuador neumático de la serie HP*



HKC

**Tabla 1**

*Doble efecto actuador HKC HP torque (Nm)*

Model	air supply in bar	2.5 Bar	3 Bar	3.5 Bar	4 Bar	4.5 Bar	5 Bar	5.5 Bar	6 Bar	7 Bar	8 Bar
HP - 35		3.6	4.3	5	5.7	6.4	7.3	8	8.7	10	11.6
HP - 50		8.4	10.1	11.7	13.5	15.1	16.7	18.4	20	23.4	26.7
HP - 63		14.8	17.7	20.6	23.6	26.5	29.4	32.3	35.3	41.1	47
HP - 75		29.2	35	40.8	46.6	52.5	58.3	64.1	69.9	81.5	93.2
HP - 88		45.9	55	64.2	73.3	82.5	91.6	101.1	110.1	128.1	146.1
HP - 100		66.8	80.1	93.4	106.3	120.3	133.3	146.3	160.3	186.3	213.3
HP - 125		139	167	195	223	250	278	306	333	389	444
HP - 160		285	341	398	455	512	577	625	682	795	909
HP - 200		533	639	746	852	976	1065	1171	1277	1490	1703

**Nota.** En la tabla se muestra el torque por modelo de actuador neumático HKC, modelo HP.

#### 2.2.4 Válvula solenoide simple 5/2 Parker 341Y312UNMO

Válvula de aluminio 5/2 de 24 V DC con presión de operación de 1.5 a 10 bar (PARKER, 2018) (ver Figura 15), la hoja de datos se muestra en el **Anexo D**.

**Figura 15**

*Válvula Parker 341y312UNMO*



**Nota.** En la figura se muestra una Electroválvula de la marca Parker 5/2 vías.

#### 2.2.5 Diseño de la propuesta

El lavado de turbocargador y turbocompresor se realizará mediante válvulas electroneumáticas, mismas que serán accionadas mediante aire y controladas por un controlador lógico programable Siemens S7-1200, que, a su vez, estará controlado por

una app móvil desde cualquier teléfono celular, el operador tendrá control del proceso y podrá monitorear los parámetros operativos del turbocompresor y turbocargador en tiempo real.

### **2.2.6 Programación del PLC**

#### **Lavado de turbocargador**

La programación para el lavado de turbocargador y turbocompresor se realizó mediante lenguaje de contactos Ladder, mismo que se muestra gráficamente en el **Anexo C**, y se explica a continuación:

#### **CADENA 1:**

- **Inicio:** En la cadena 1 se realiza la programación de contactos para que se inicie el proceso de lavado de turbocargador.

#### **CADENA 2:**

- **Tiempo de inyección de agua turbocargador:** Desde la carpeta de operaciones de tiempo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos TON, mismo que llevara el control del tiempo de apertura "VALV\_OPEN" e inyección de agua (30 segundos) al turbocargador.
- **Tiempo de espera entre lavados del turbocargador:** Desde la carpeta de operaciones de tiempo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos TON, mismo que llevara el control del tiempo de cierre "VALV\_CLOSED" que es de 3 minutos entre cada lavado.
- **Contador de inyecciones de agua al turbocargador:** Desde la carpeta de operaciones de conteo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos CTU (Cuenta hacia arriba), mismo que contara el número de inyecciones agua

"WATER\_INJECT" durante el proceso de lavado, que en el caso de los generadores Hyundai 9h21/32 es de 3 o 4 lavados. Además, se ingresa un contacto de memoria global para la función de restablecimiento.

### **CADENA 3:**

- **Apertura y cierre de válvula electroneumática:** Se ingresa un contacto abierto "VALV\_OPEN".IN para que se cierre durante el conteo de los 30 segundos del bloque de datos TON "VALV\_OPEN" y un contacto cerrado "VALV\_OPEN". Q que se apertura durante el conteo de 3 minutos del bloque de datos TON "VALV\_CLOSED", de esta forma se lleva el control de cierre y apertura del contacto de salida "VALV\_T/CHARGER" válvula electroneumática para lavado de turbocargador.

### **Lavado de turbocompresor**

### **CADENA 4:**

- **Inicio:** En la cadena 1 se realiza la programación de contactos para que se inicie el proceso de lavado de turbocompresor.

### **CADENA 5:**

- **Tiempo de inyección de agua turbocompresor:** Desde la carpeta de operaciones de tiempo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos TON, mismo que llevara el control del tiempo de apertura "VALV\_OPEN\_T/COMP" e inyección de agua (10 segundos) al turbocompresor.
- **Tiempo de espera entre lavados del turbocompresor:** Desde la carpeta de operaciones de tiempo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos

TON, mismo que llevará el control del tiempo de cierre "VALV\_CLOSED\_T/COMP" que será definido por el departamento encargado, pero se deja a programación del cliente.

- **Contador de inyecciones de agua al turbocompresor:** Desde la carpeta de operaciones de conteo en las instrucciones básicas se ingresa un bloque de datos CTU (Cuenta hacia arriba), mismo que contara el número de inyecciones agua "WATER\_INJECT\_T/COMP" durante el proceso de lavado, que en el caso de los generadores Hyundai 9h21/32 es 1 lavado. Además, se ingresa un contacto de memoria global para la función de restablecimiento si este parámetro fuese cambiado.

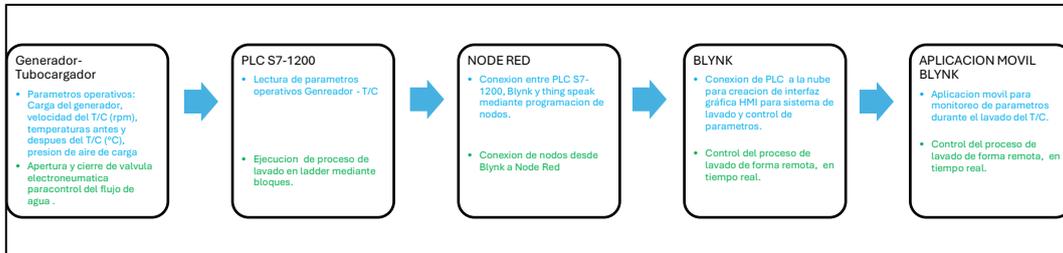
#### **CADENA 6:**

• **Apertura y cierre de válvula electroneumática:** Se ingresa un contacto abierto "VALV\_OPEN\_T/COMP".IN para que se cierre durante el conteo de los 10 segundos del bloque de datos TON "VALV\_OPEN\_T/COMP" y un contacto cerrado "VALV\_OPEN\_T/COMP". Q que se apertura según el conteo programado al bloque de datos TON "VALV\_CLOSED\_T/COMP" de esta forma se lleva el control de cierre y apertura del contacto de salida "VALV\_T/COMPRESSOR" válvula electroneumática para lavado de turbocompresor.

## 2.2.7 Diagrama de flujo del proceso

**Figura 16**

*Diagrama de flujo del proceso*



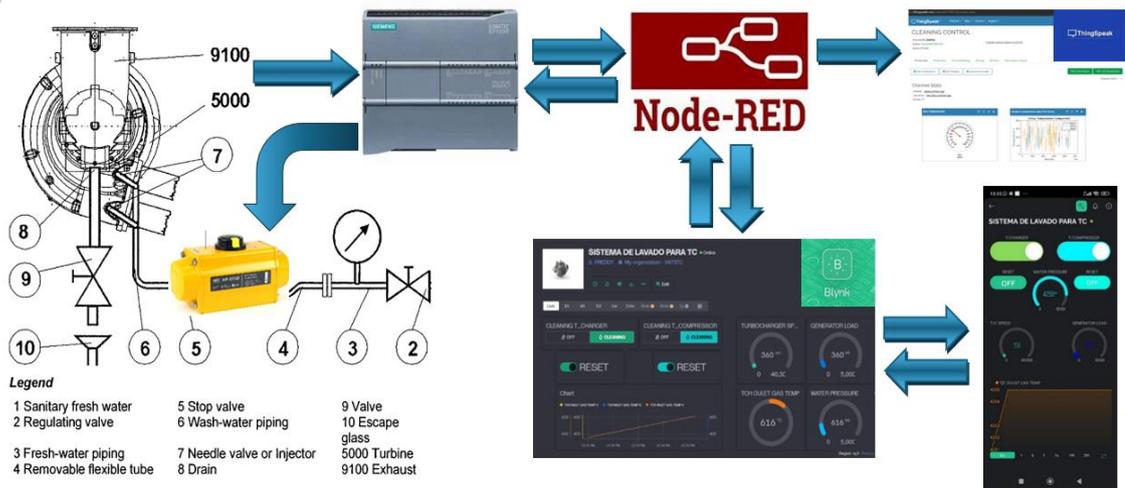
**Nota:** En el diagrama se muestra el flujo del proceso de lavado.

## 2.3 Puesta en marcha de la solución

Como se muestra en la figura 17, se plantea desarrollar un sistema completo para el lavado de turbocompresor y turbocargador en motores Hyundai 9h21/32, con capacidades de control remoto y monitorización de variables clave, mismo que se describe en el siguiente diagrama esquemático:

**Figura 17**

*Diagrama esquemático del proceso*



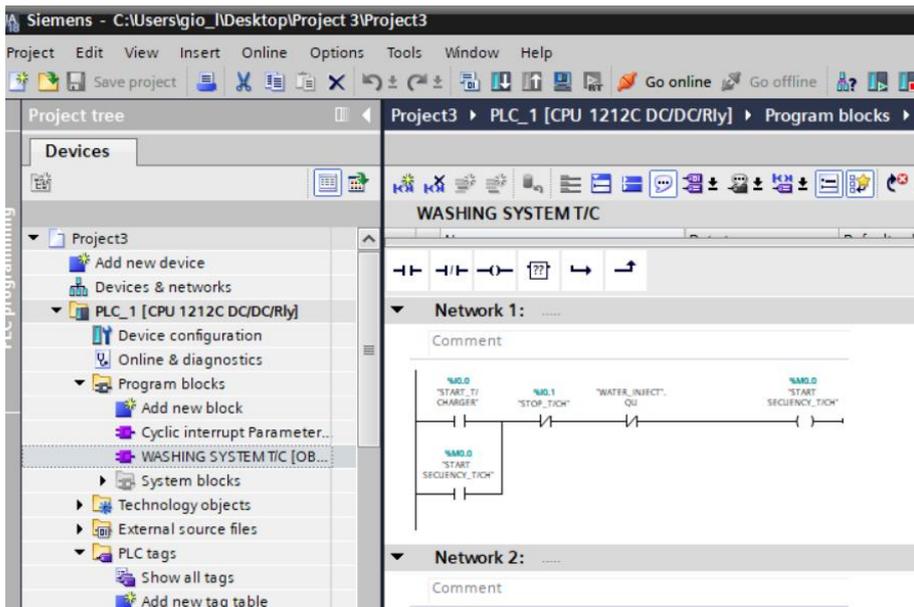
**Nota.** En el diagrama se muestra la interconexión de los componentes del sistema automatizado de lavado.

### 2.3.1 Programación en lenguaje de contactos Ladder en TIA Portal

Como se puede observar en la figura 18, se muestra la implementación del programa mediante lenguaje Ladder para controlar el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador, empleando instrucciones lógicas y temporizadores según la secuencia de operación deseada, se muestra la secuencia en el **Anexo E**.

**Figura 18**

*Programación en lenguaje de contactos Ladder*



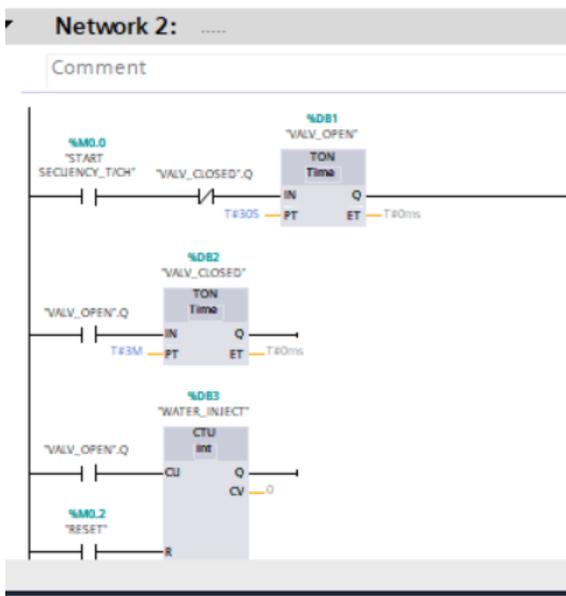
**Nota.** En la imagen se muestra la programación en TIA Portal.

### 2.3.2 Creación de Data Blocks (DBs) TON para control de tiempos de lavado

Se crean Data Blocks de tipo Temporizador (TON) para gestionar los tiempos de activación y desactivación de las distintas etapas del proceso de lavado, asegurando una sincronización adecuada (ver Figura 19).

**Figura 19**

*Data Blocks (DBs) TON*



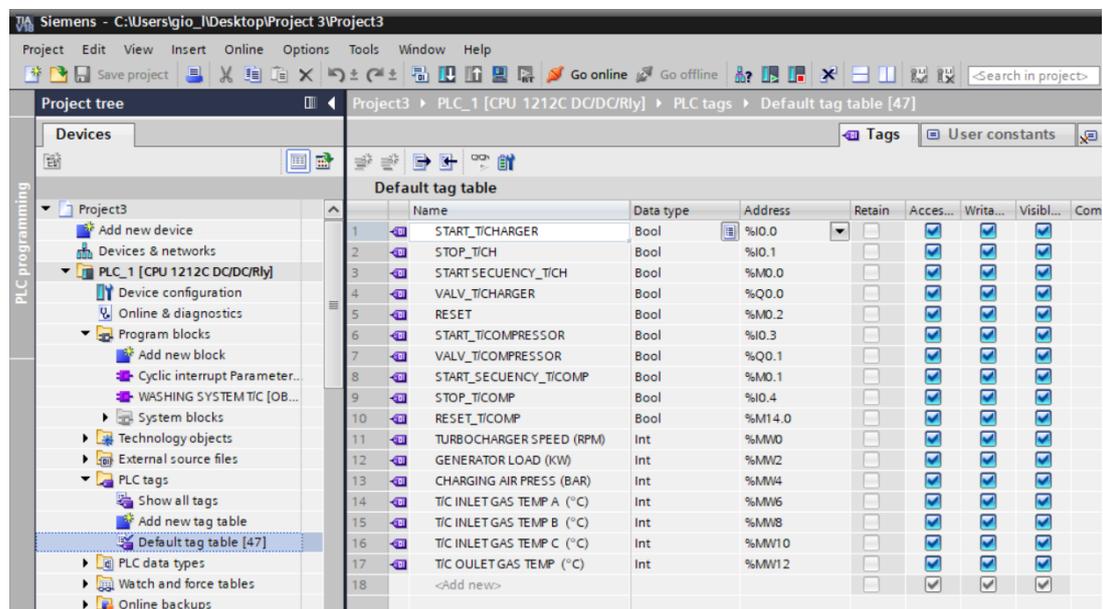
**Nota.** Se muestra cómo se crearon los Data Blocks de tipo Temporizador.

### 2.3.3 Creación de nuevos tags para simulación de variables

Se definen nuevos tags para simular variables como la velocidad del turbo, potencia del generador, presión de agua para lavado y temperaturas de gases pre y post turbocargador, estableciendo sus tipos de datos y rangos de valores (ver Figura 20).

**Figura 20**

*Creación de nuevos tags para simulación de variables*



	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Com
1	START_TICHARGER	Bool	%IO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	STOP_TICH	Bool	%IO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	START_SECUENCY_TICH	Bool	%MO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	VALV_TICHARGER	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	RESET	Bool	%MO.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	START_TICOMPRESSOR	Bool	%IO.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	VALV_TICOMPRESSOR	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	START_SECUENCY_TICOMP	Bool	%MO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	STOP_TICOMP	Bool	%IO.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	RESE_TICOMP	Bool	%M14.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	TURBOCHARGER SPEED (RPM)	Int	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	GENERATOR LOAD (KW)	Int	%MW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	CHARGING AIR PRESS (BAR)	Int	%MW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	TIC INLET GAS TEMP A (°C)	Int	%MW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	TIC INLET GAS TEMP B (°C)	Int	%MW8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	TIC INLET GAS TEMP C (°C)	Int	%MW10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	TIC OULET GAS TEMP (°C)	Int	%MW12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

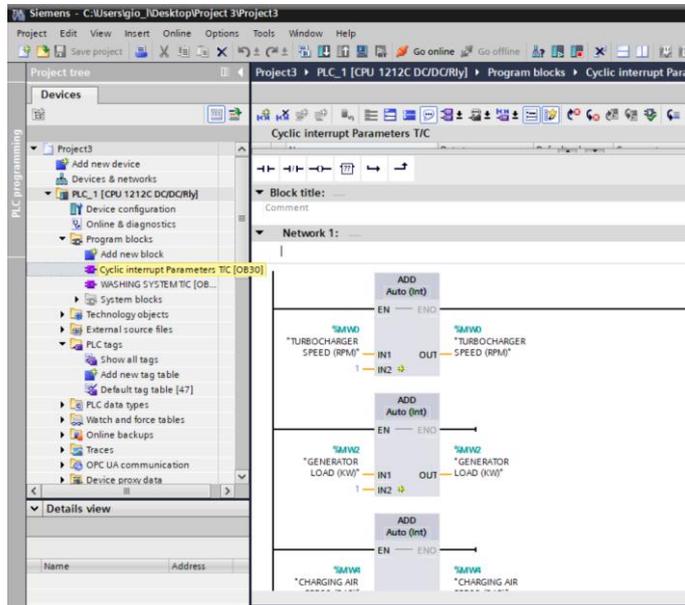
**Nota.** Creación de tags para simulación de variables.

### 2.3.4 Creación de Data Blocks para control cíclico de parámetros simulados

Se desarrolla un Data Block específico para el control cíclico de los parámetros simulados, estructurando la información de manera que facilite su tratamiento y actualización durante la ejecución del programa (ver Figura 21).

**Figura 21**

*Data Blocks para control cíclico*



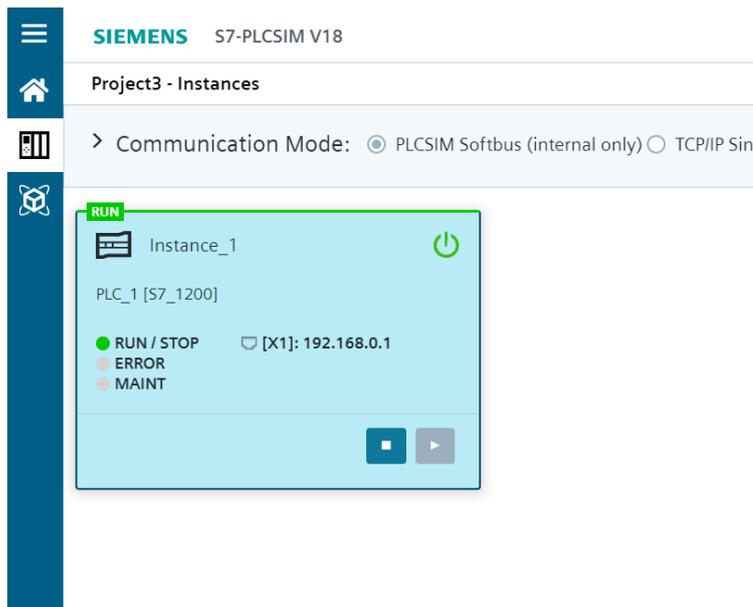
**Nota.** Se muestra bloques de datos para simulación de variables.

### 2.3.5 Utilización de PLC SIM para simular el programa

Se arranca el entorno de simulación PLC SIM en TIA Portal, permitiendo la ejecución del programa desarrollado en un entorno virtual que emula el comportamiento de un PLC físico (ver Figura 22).

**Figura 22**

*S7-PLCSIM V18*



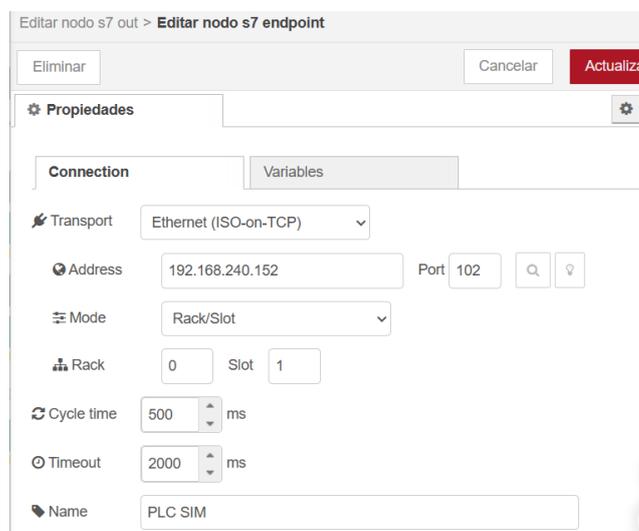
**Nota.** Se muestra el PLC S7-1200 simulado.

### 2.3.6 Programación de nodos de conexión en Node-RED

Se configuran nodos en Node-RED para establecer la comunicación con el PLC SIM S7 1200, definiendo parámetros de conexión como la dirección IP y los identificadores de entradas y salidas utilizados en el proyecto TIA Portal (ver Figura 23).

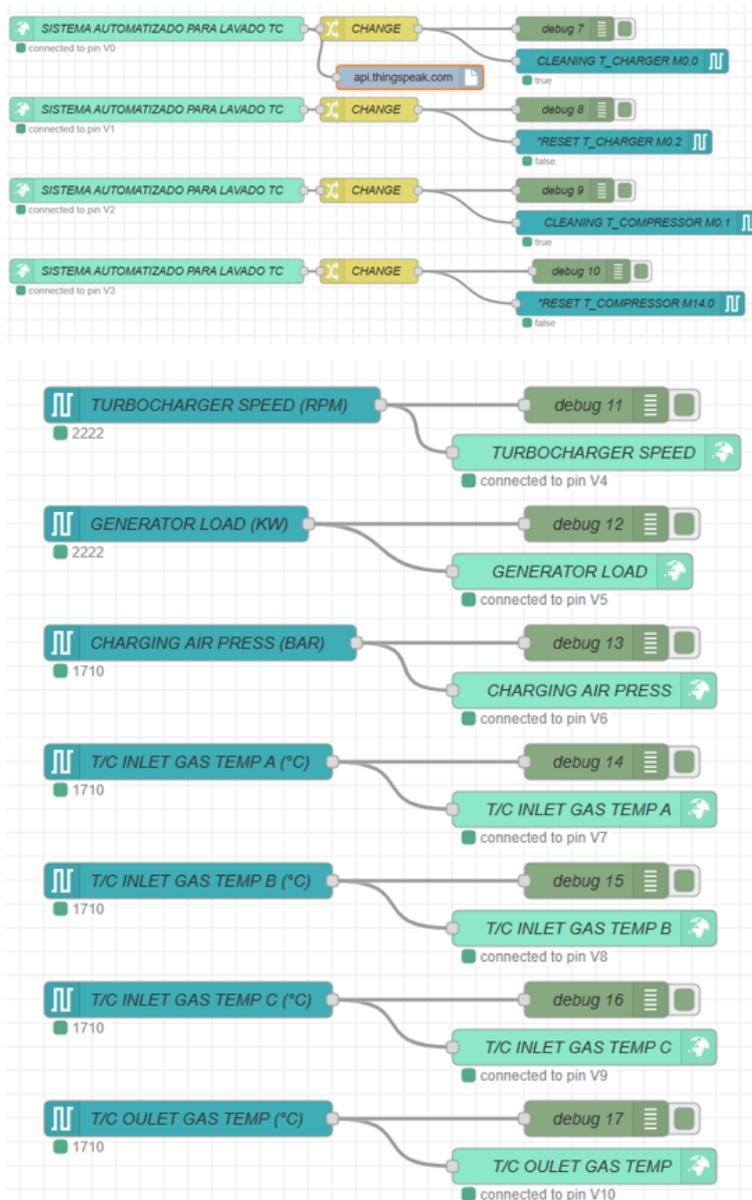
**Figura 23**

*Programación de nodo S7 en Node-RED*



**Figura 24**

*Flujo de programación visual en Node-Red*



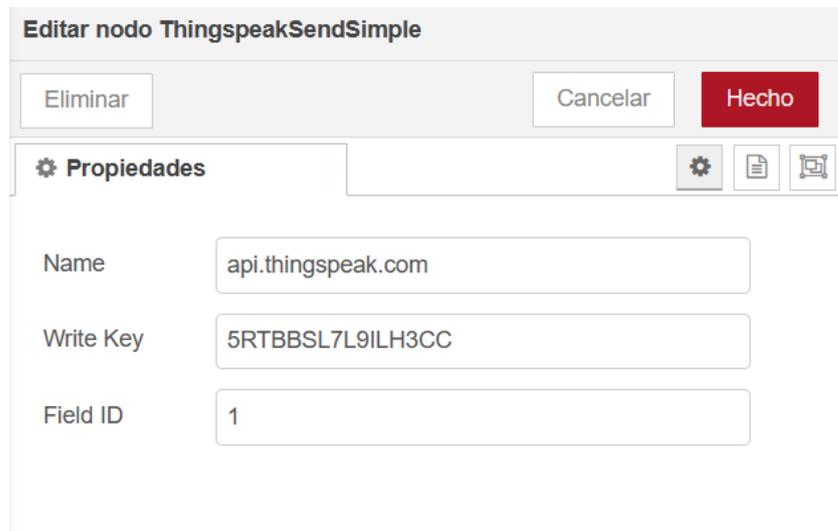
**Nota:** Se muestra el flujo de nodos para conexión entre diferentes dispositivos.

### 2.3.7 Programación de nodos en Node-RED para conexión con ThingSpeak

Se configuran nodos en Node-RED para enviar datos al canal de ThingSpeak, estableciendo la periodicidad y el formato de los mensajes para asegurar una correcta integración con la plataforma (ver Figura 25).

**Figura 25**

*Programación de nodos en Node-RED para conexión con ThingSpeak*

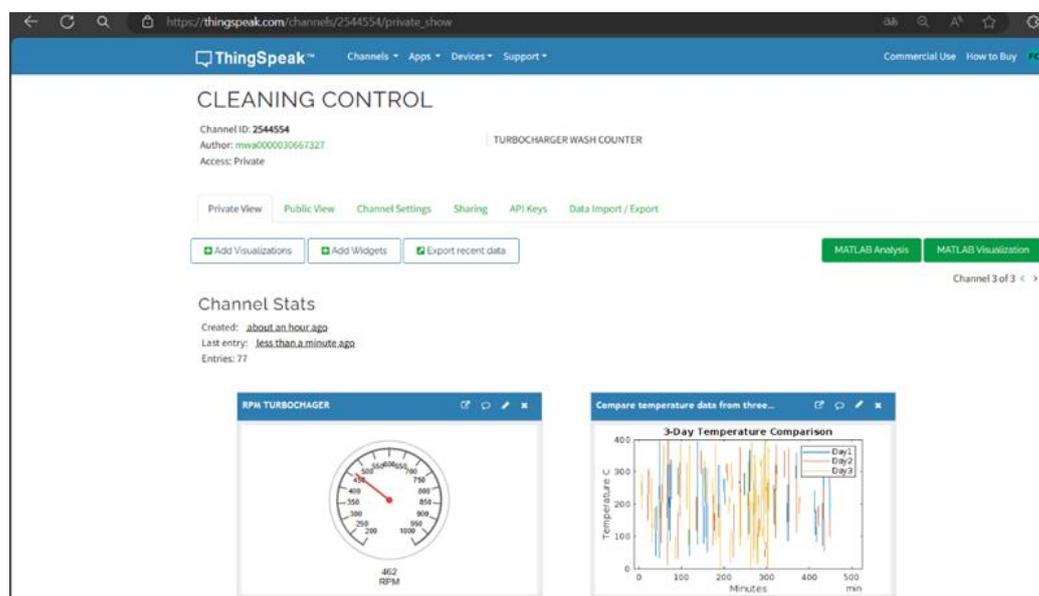


### 2.3.8 Creación de canal en ThingSpeak

Se crea un canal en la plataforma ThingSpeak con el objetivo de almacenar y visualizar las variables relevantes del proceso de lavado, facilitando su monitorización remota (ver Figura 26).

**Figura 26**

*Creación de canal en ThingSpeak*

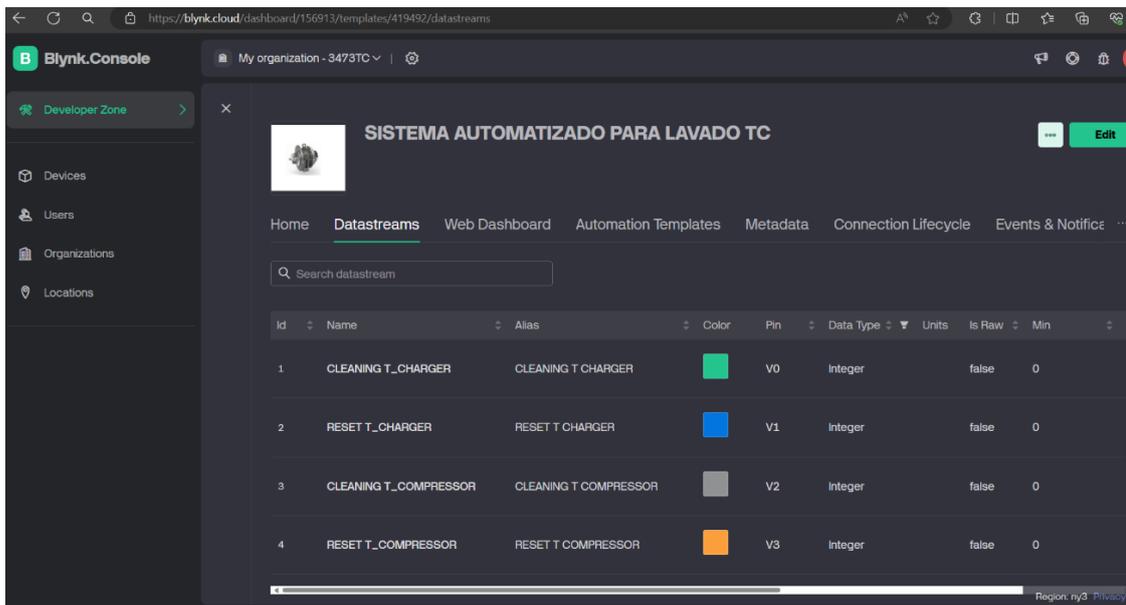


### 2.3.9 Programación de Blynk

Se desarrolla una interfaz de usuario en la plataforma Blynk, utilizando widgets como botones y medidores para controlar y visualizar el estado del proceso de lavado (ver Figura 27).

**Figura 27**

*Programación de Blynk*

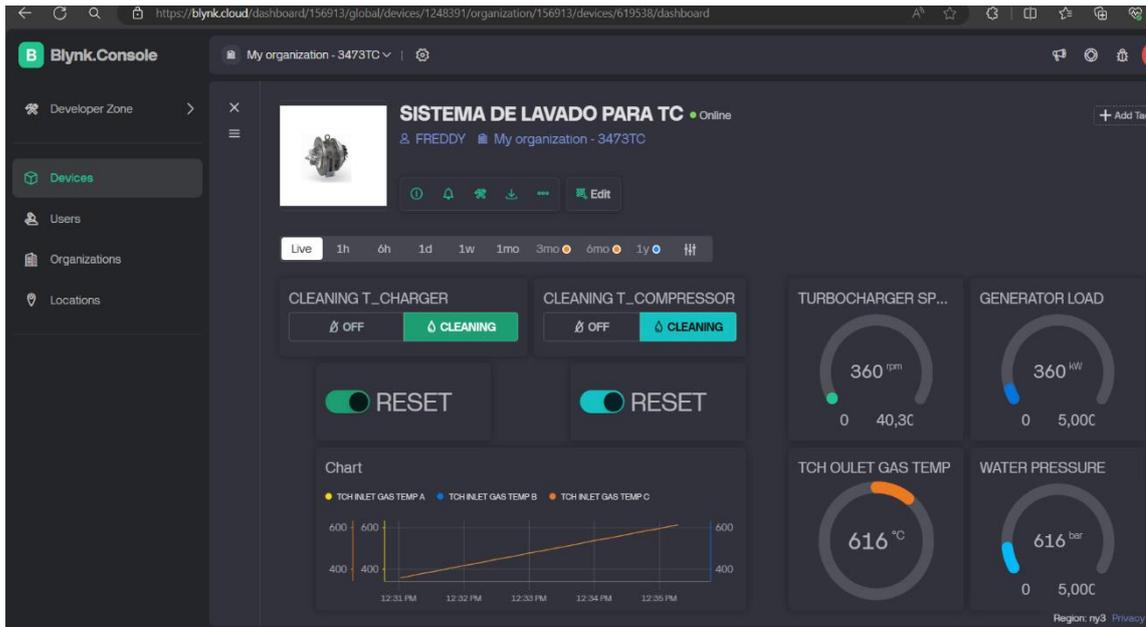


### 2.3.10 Conexión del PLC SIM con Node-RED y Blynk

Se establece una conexión entre el PLC SIM y Node-RED, así como con la plataforma Blynk, permitiendo el control y monitoreo remoto del proceso de lavado desde dispositivos móviles u ordenadores conectados a internet (ver Figura 28).

**Figura 28**

*Conexión del PLC SIM con Node-RED y Blynk*



### 2.3.11 Desarrollo de la aplicación móvil

Como se observa en la figura 29, se desarrolla una aplicación móvil utilizando la plataforma Blynk IoT, que permite iniciar, detener y supervisar el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador desde cualquier ubicación con acceso a internet.

**Figura 29**

*Aplicación móvil*



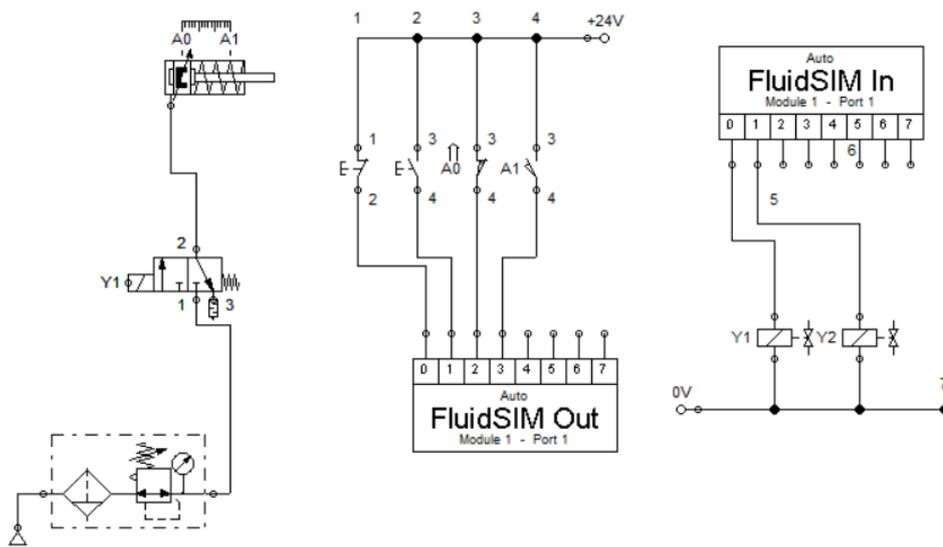
Nota. En la figura se muestra la interfaz de la aplicación móvil mediante Blynk.

### 2.3.12 Simulación en FESTO FluidSIM neumática

Como se observa en la figura 30, mediante el software de simulación neumática FluidSIM de Festo se modela y simula los componentes neumáticos involucrados en el proceso de lavado del turbocompresor y turbocargador.

**Figura 30**

*Simulación en FESTO FluidSIM*



**Nota.** Simulación de sistema neumático mediante el software FluidSIM neumática.

### 3 CONCLUSIONES

- La automatización del proceso de lavado del motor-generator en la Central Termoeléctrica Quevedo II eliminará la necesidad de intervención manual, resultando en una reducción significativa del tiempo de inactividad. Esto incrementará la disponibilidad del equipo y, consecuentemente, mejorará la producción de energía, optimizando el rendimiento operativo de la central.
- La implementación de sistemas automatizados en el proceso de lavado industrial minimizará la exposición de los operadores a riesgos asociados con la manipulación manual, tales como productos químicos peligrosos, temperaturas extremas, niveles elevados de ruido y riesgo de caídas. Esta automatización garantizará un entorno de trabajo más seguro y saludable, alineándose con las normativas de seguridad industrial.
- Mediante simulación y modelado del proceso de lavado, se podrá optimizar la secuencia de operaciones, logrando una limpieza más eficaz y completa del turbocompresor y turbocargador. La simulación permitirá identificar y ajustar parámetros críticos, mejorando la eficiencia y efectividad del proceso de lavado.
- La implementación de una HMI mediante la plataforma Blynk permitirá a los operadores monitorear y controlar el proceso de lavado de manera remota y en tiempo real. Esto proporcionará mayor flexibilidad operativa y facilitará la detección temprana de cualquier anomalía o problema en el sistema, mejorando la capacidad de respuesta y mantenimiento preventivo.
- El uso del software Festo FluidSIM Neumática 4.0 para la simulación y del sistema neumático antes de su implementación real asegurará su eficiencia y efectividad en el control del proceso de lavado. Esta herramienta permitirá el

poder realizar pruebas del equipo físico en campo para realizar los ajustes necesarios del sistema, garantizando un rendimiento óptimo del sistema neumático automatizado.

## 4 RECOMENDACIONES

- ThingSpeak puede contribuir significativamente a mejorar el proceso de lavado de turbocompresor y turbocargador al proporcionar herramientas para el análisis de datos, la optimización de parámetros y la detección de anomalías que pueden ser implementadas a futuro por la organización.
- Se recomienda la revisión periódica de componentes y la actualización de software según sea necesario. A pesar de que la automatización es crucial, el realizar un mantenimiento preventivo regular del sistema garantizará su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo.
- Se recomienda proporcionar capacitación adecuada al personal para familiarizarse con el nuevo sistema automatizado. Esto garantizará un uso eficiente y seguro de la tecnología implementada.

## 5 REFERENCIAS

- © 2021 Nakajima | Turbocharger Company. (2021 ). *NAKAJIMA ROTORMAX* .  
Obtenido de Turbocharger Company.
- © Kompressorenbau Bannewitz GmbH. (27 de Abril de 2024). *KBB*. Obtenido de kbb-turbo.com: <https://kbb-turbo.com/turbocharger-product-series/hpr-series>
- Blynk Inc. (1 de ener de 2024). *Blynk*. Obtenido de Blynk: <https://blynk.io/>
- Festo Didactic GmbH & Co. KG . (2007). *Manual de usuario Fluid Sim*. Paderborn: Universidad de Paderborn, la empresa Festo Didactic GmbH & Co. KG y Art Systems Software GmbH, Paderborn.
- García, J. C.-M. (2009). *Automatismos Industriales* (Vol. 1). (J. Ablanque, Ed.) Madrid: Editorial Editex.

- HKC Co., Ltd. (2021). *hkcon.co.kr*. Obtenido de HKC:  
[https://hkcon.co.kr/index.php?module=Goods&action=SiteGoodsEn&sMode=VIEW\\_FORM&sCurrSortCd=001002&iGoodsCd=8&CurrentPage=1&sSearchField=&sSearchValue=](https://hkcon.co.kr/index.php?module=Goods&action=SiteGoodsEn&sMode=VIEW_FORM&sCurrSortCd=001002&iGoodsCd=8&CurrentPage=1&sSearchField=&sSearchValue=)
- ISA. (2024). *Normas y Publicaciones de la ISA*. Obtenido de SA101, Interfaces hombre-máquina: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa101>
- Mayur Gandhi. (05 de Febrero de 2020). *AUTYCOM*. Obtenido de Cuáles son los protocolos de comunicación industrial: <https://www.autycom.com/protocolos-de-comunicacion-industrial/>
- OpenJS Foundation & Contributors. (01 de Septiembre de 2019). *Node-RED*. Obtenido de Node-RED: <https://nodered.org>
- PARKER. (2018). *parkerindonesia.com*. Obtenido de PARKER:  
<https://parkerindonesia.com/product/sol-valve-341y312unmo/#tab-reviews>
- Pustjens, J.-W. (01 de Octubre de 2017). *TAMESON*. Obtenido de Comprensión de las Válvulas Neumáticas de 5/2 y 4/2 vías: <https://tameson.es/pages/valvula-neumatica-de-5-2-y-4-2-vias-como-funcionan>
- SIEMENS. (26 de abril de 2024). Obtenido de global de siemens.com:  
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>
- SIEMENS. (26 de ABRIL de 2024). *SIEMENS*. Obtenido de Mercado de Siemens Xcelerator: <https://xcelerator.siemens.com/global/en/all-offerings/products/s/s7-plcsim-advanced.html>
- SIEMENS. (2024). *siemens.com*. Obtenido de SIMATIC S7-1200:  
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- SIEMENS. (12 de Marzo de 2024). *support.industry*. Obtenido de siemens.com:  
<https://support.industry.siemens.com/cs/pd/279623?ptdi=td&dl=es&lc=es-EC>
- TAMESON. (2024). *tameson.es*. Obtenido de Actuadores Neumáticos De Cuarto De Vuelta: <https://tameson.es/collections/actuadores-neumaticos-de-cuarto-de-vuelta>
- TECNOPLC. (2015). *tecnopl.com*. Obtenido de PLC S7 1200 SIEMENS AL DETALLE, COMPARACIÓN, BLOQUES, MEMORIA:  
<https://www.tecnopl.com/plc-s7-1200-siemens-al-detalle-comparacion-bloques-memoria/>
- UNE. (01 de noviembre de 2019). *UNE-EN ISO 9241-210:2019 (Ratificada)*. Obtenido de Ergonomía de la interacción hombre-sistema - Parte 210: Diseño centrado en el operador humano para los sistemas interactivos (ISO 9241-210:2019) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en noviembre de 2019.): <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062677>

UNE. (01 de marzo de 2023). *UNE-EN IEC 62682:2023 (Ratificada)*. Obtenido de Gestión de sistemas de alarmas en las industrias de procesos (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2023.): <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0070877>

Brauer, R. L. (2006). Safety and Health for Engineers: Second Edition. En *Safety and Health for Engineers: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/047175093X>

Chen, S., Ma, C., Zhang, H., Xu, C., Lei, F., Feng, T., Cao, G., Yang, H., & Wei, C. (2022). Engine performance improvements through turbocharger matching and turbine design. *Energy Science and Engineering*, 10(9). <https://doi.org/10.1002/ese3.1225>

Heywood, J. B. (2018). Internal Combustion Engine Fundamentals. En *Internal Combustion Engine Fundamentals Second Edition*.

Slovak, A. (2012). Occupational and Environmental Health: Recognizing and Preventing Disease and Injury. *Occupational Medicine*, 62(3). <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr102>

## 6 ANEXOS

### Anexo A. Valores de funcionamiento para el lavado de turbinas

#### Exhaust gas turbocharger HPR5000



14. Run dry the exhaust gas turbocharger at constant load for approx. 30 minutes. Subsequently, increase engine load slowly!
15. Repeat the washing process if the exhaust gas turbocharger is affected by vibrations which did not occur before.
16. Remove the piece of flexible tube (4).

##### **Operating values for turbine washing**

Engine output	Exhaust gas temperature downstream of cylinder	Exhaust gas temperature up / downstream of the turbine	Water pressure (gauge)	Total washing period
max. 15%	300 – 330 °C	400 – 420 / <330 °C	350 – 500 kPa	3-4x 30 sec



- Hot exhaust gas can escape from the drain - Risk of burning!
- Continue to operate the engine for at least 30 minutes after cleaning.
- Do not wash before a pause of operation. Corrosion risk!
- Washing is ineffective in case of hardened deposits, thus perform washing at regular intervals.

## Anexo B. Lavado de turbina



### Exhaust gas turbocharger HPR5000

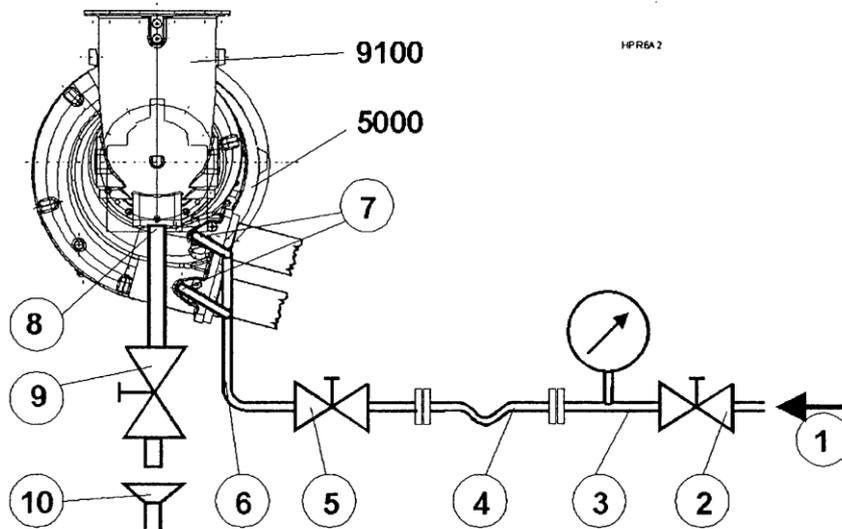
#### 7.5.2 Turbine washing

(For heavy fuel oil operation only, every 50 – 500 operating hours respective depending on HFO quality)



The washing intervals depend on the fuel quality and operating conditions. That's why they must be adjusted based on the experience gained during engine operation if necessary later on.

Read and take down the charge pressure and exhaust gas temperatures at a reference point (at 75 % or 100 % of the output) before and after washing to check the washing effect.



#### Legend

1 Sanitary fresh water	5 Stop valve	9 Valve
2 Regulating valve	6 Wash-water piping	10 Escape funnel or sight glass
3 Fresh-water piping	7 Needle valve or Injector	5000 Turbine housing
4 Removable flexible tube	8 Drain	9100 Exhaust gas elbow

#### Work sequence:

4. Reduce the engine output to approx. 15 % of its rating until the temperature downstream of the cylinder has come down to its specified value. (see table)
5. Connect the flexible tube (4) to fresh-water piping (3).
6. Wait for approx. 10 minutes!
7. Open the drain (8/9) (if present).
8. Open valve (2) and adjust the water pressure (see table).
9. Completely open the needle valve (7).
10. Open stop valve (5) for approx. 30 seconds and close again.
11. Wait for approx. 3 minutes so that the injected water can evaporate.
12. Repeat steps 7. and 8. three or four times.
13. Close the stop valve (5), needle valve (7), and valve (2).

### **Anexo C. Datos técnicos PLC SIMATIC S7-1200.**

<b>DATOS TECNICOS</b>	
<b>Tipo de producto</b>	CPU 1212C AC/DC/relé
<b>Firmware version</b>	V4.4
<b>Voltaje de alimentación soportado</b>	120V AC 230V AC
<b>Corriente disponible (24 V DC)</b>	300 mA máx (alimentación de sensores)
<b>E/S digitales</b>	8 entradas/6 salidas
<b>E/S analógicas</b>	2 entradas

### **Anexo D. Hoja de datos válvula neumática PARKER 341Y312UNMO**

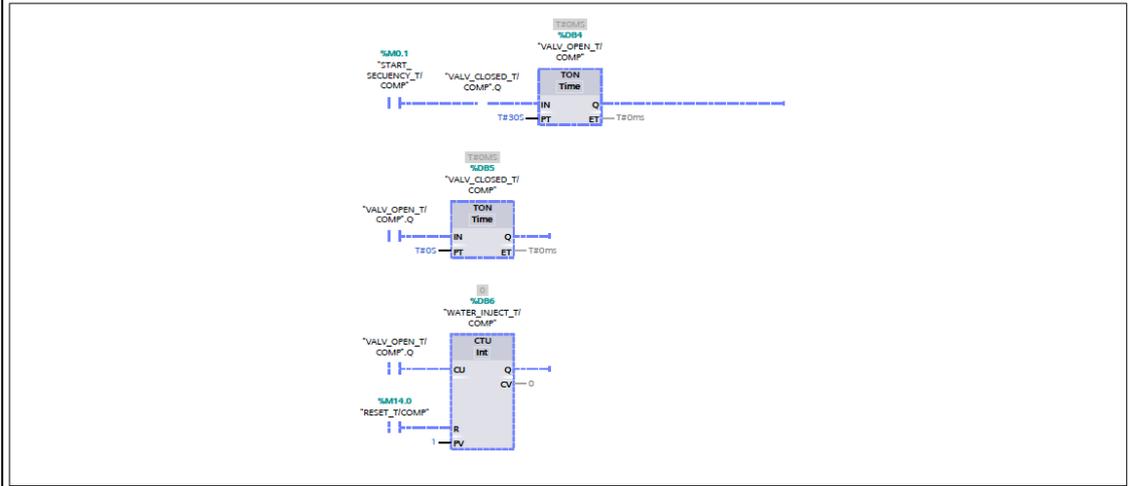
Número de pieza	: 341Y312UNMO
Marca	: Parker Pneumatic
Función	: Solenoide simple 5/2
Presión de funcionamiento	: 1,5 a 10bar
Rango de temperatura	: 5 a 60 grados centígrados
Voltaje	: 24 CC, 110/50-120/60, 220/50-240/60 CA
Materia CorporalL	: Aluminio (fundición a presión)
Focas	: NBR
Springs	: Acero inoxidable

## Anexo E. Programación para el lavado de turbocargador y turbocompresor mediante lenguaje de contactos Ladder EN TÍA Portal.

Totally Integrated Automation Portal					
Project3 / PLC_1 [CPU 1212C DC/DC/Rly] / Program blocks					
WASHING SYSTEM T/C [OB1]					
WASHING SYSTEM T/C Properties					
General					
Name	WASHING SYSTEM T/C	Number	1	Type	OB
Numbering	Automatic				
Information					
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Version	0.1	User-defined ID			
WASHING SYSTEM T/C					
Name		Data type		Default value	Comment
▼ Input					
Initial_Call		Bool			Initial call of this OB
Remanence		Bool			=True, if remanent data are available
Temp					
Constant					
Network 1:					
Network 2:					
Network 3:					



**Network 5:**



**Network 6:**

