



**Diseño y construcción de una cámara de niebla salina didáctica mediante la Norma ASTM B-117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión en el laboratorio de Catálisis y Corrosión de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.**

Aldas Acosta, Eduardo Vinicio y Paredes Sánchez, Daniela Alejandra

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

16 de marzo del 2021



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**Certificación**












Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño y construcción de una cámara de niebla salina didáctica mediante la Norma ASTM B-117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión en el laboratorio de Catálisis y Corrosión de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga**” fue realizado por los señores **Aldas Acosta, Eduardo Vinicio y Paredes Sánchez, Daniela Alejandra** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Washington B. Freire Llerena', is written over a light blue horizontal line. The signature is stylized and cursive.

ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO.

C.C:1801910884

Document Information	
Analyzed document	TESIS_CNS_ALDAS_PAREDES_13 Mar 2021-.pdf (D98199048)
Submitted	3/13/2021 7:50:00 AM
Submitted by	Freire Llerena Washington Rodrigo
Submitter email	daparedes9@espe.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	wrfreire.espe@analysis.orkund.com
Sources included in the report	
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/95025975-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html">https://docplayer.es/95025975-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html</a> Fetched: 12/11/2019 10:24:33 PM  22
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/250156749.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/250156749.pdf</a> Fetched: 3/12/2021 1:42:56 PM  3
<b>SA</b>	TESIS_BELTRÁN_CAMPOS.docx Document TESIS_BELTRÁN_CAMPOS.docx (D62167965)  23
<b>SA</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis_Rodriguez_Danny.pdf Document Tesis_Rodriguez_Danny.pdf (D98027808)  1 Submitted by: hrtiz@espe.edu.ec Receiver: hrtiz.espe@analysis.orkund.com
<b>W</b>	URL: <a href="https://publicaciones.fctunca.edu.py/jspui/bitstream/123456789/43/1/PFG_JUAN_RAMON...">https://publicaciones.fctunca.edu.py/jspui/bitstream/123456789/43/1/PFG_JUAN_RAMON ...</a> Fetched: 5/1/2020 12:40:20 AM  1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/">https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/</a> Fetched: 3/13/2021 7:51:00 AM  2
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/249337805.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/249337805.pdf</a> Fetched: 7/18/2020 10:57:26 AM  1
<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/234580379.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/234580379.pdf</a> Fetched: 7/24/2020 11:57:32 AM  1
<b>SA</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / ALEX MOREANO A - TESIS v7.docx Document ALEX MOREANO A - TESIS v7.docx (D47208390)  4 Submitted by: asmullo@espe.edu.ec Receiver: asmullo.espe@analysis.orkund.com
<b>W</b>	URL: <a href="http://diansa.com/blog/2019/03/20/fibra-de-vidrio/">http://diansa.com/blog/2019/03/20/fibra-de-vidrio/</a> Fetched: 3/13/2021 7:51:00 AM  1
<b>SA</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS_MULTIVAr_GUEVARA_JIMENEZ_09mar2021.pdf Document TESIS_MULTIVAr_GUEVARA_JIMENEZ_09mar2021.pdf (D97759419)  2 Submitted by: wesanchez@espe.edu.ec erior-politecnica-de-chimborazo.html

**URKUND**

Receiver: wesanchez.espe@analysis.orkund.com

- W** URL: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/Investigium/article/view/2428>  
Fetched: 3/13/2021 7:51:00 AM  1
- SA** Zambrano\_Zambrano.docx  
Document Zambrano\_Zambrano.docx (D97029865)  3
- W** URL: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>  
Fetched: 3/13/2021 7:51:00 AM  1



ING. FREIRE LLERENA, WASHINGTON RODRIGO.

C.C:1801910884



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**Responsabilidad de autoría**

Nosotros, **Aldas Acosta, Eduardo Vinicio y Paredes Sánchez, Daniela Alejandra**, con cédulas de ciudadanía N° 1804327789 y N° 1804740411., declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño y construcción de una cámara de niebla salina didáctica mediante la Norma ASTM B-117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión en el laboratorio de Catálisis y Corrosión de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

**Aldas Acosta, Eduardo Vinicio**

C.C.: 1804327789

**Paredes Sánchez, Daniela Alejandra**

C.C.: 1804740411



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**Autorización de publicación**

Nosotros **Aldas Acosta, Eduardo Vinicio y Paredes Sánchez, Daniela Alejandra**, con cédulas de ciudadanía N° 1804327789 y N° 1804740411, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño y construcción de una cámara de niebla salina didáctica mediante la Norma ASTM B-117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión en el laboratorio de Catálisis y Corrosión de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

**Aldas Acosta, Eduardo Vinicio**

C.C.:1804327789

**Paredes Sánchez, Daniela Alejandra**

C.C.: 1804740411

**Dedicatoria**

Este proyecto de titulación se lo dedico a DIOS quien me ha llenado de sabiduría ,valor y sobretodo salud para seguir adelante, a mis padres Milton Aldas y Rosa Acosta quienes han sido el apoyo fundamental e incondicional, mi motor de impulso para progresar en mi vida profesional, a mis hermanos quienes han sido ejemplo de superación y lucha ante las adversidades, a mis hermanos menores y sobrinas quienes espero sigan este ejemplo y logren sus metas que en la vida nada es imposible, a Diana la mujer maravillosa e importante de mi vida quien ha estado junto a mí en las buenas y en las malas dándome fuerzas para seguirme superando

**Eduardo**

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios quien me dio sabiduría, entendimiento y sobretodo mucha fortaleza para cumplir este gran logro en mi vida.

A mis queridos padres: mi papito, mi ángel Vidal Paredes, que desde el cielo me brinda su amor y fuerza para seguir adelante. A mi mamita Martha Sánchez, por ser una increíble mamá y por siempre brindarme su apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos quienes me han brindado mucho apoyo a lo largo de mi vida estudiantil.

A mi esposo Darío por siempre brindarme su apoyo y sus consejos para cumplir este objetivo tan importante para mí y a Emilio mi hijo por ser mi motivo de superación,

A mis tíos, Vinicio Sánchez y Gladys Sánchez por brindarme su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y de superación.

Y a toda mi familia por siempre estar pendiente de mí y brindarme su cariño y apoyo.

**Daniela**

## **Agradecimientos**

Agradezco a DIOS por permitirme culminar esta etapa de mi vida estudiantil, a mis padres que gracias a su esfuerzo, sacrificio, desvelo, confianza hoy soy un profesional, a mis hermanos que de uno u otro modo me ayudaron a que este día llegue, a Diana por esa paciencia constante y apoyo incondicional y no perder la fe en mí, a mis amistades que estuvieron echándome la mano y apoyándome moralmente para no desvanecer muchas gracias, a mi compañera de tesis que hemos culminado con éxito este proyecto, al Ing. Washington Friere y a la Ing. Nelly Flores quienes desde un inicio me brindaron su apoyo con sus conocimientos, para que este proyecto se haga realidad.

**Eduardo**

Primero agradezco infinitamente a Dios por darme salud, sabiduría y por permitirme alcanzar este logro en mi vida.

A mis padres agradezco infinitamente por su gran esfuerzo y apoyo que me brindaron, que a pesar de los tropiezos y dificultades siempre están para apoyarme.

A todos mis hermanos y familiares que siempre me apoyaron y me brindan su cariño y están pendiente de mí. Dios les pague a todos y les multiplique todo lo que me apoyaron.

Un agradecimiento especial al Ing. Washington Freire por compartir sus conocimientos y ayudarnos para la culminación de este proyecto importante. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga y mis docentes por formarme como profesional de calidad,

A mis amigos, por ser un gran apoyo a lo largo de la carrera.

**Daniela**



## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	5
Autorización de publicación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos .....	8
Resumen .....	26
Abstract.....	27
Problema.....	28
Descripción del problema .....	28
Antecedentes .....	29
Justificación e importancia.....	30
Objetivos .....	31
<i>Objetivo General</i> .....	31
<i>Objetivos Específicos</i> .....	31
Marco teórico.....	32
Antecedentes de investigación.....	32
Fundamentación teórica.....	33
<i>Corrosión</i> .....	33
<i>Formas de corrosión</i> .....	33
Corrosión Uniforme .....	33
Corrosión Galvánica.....	34
Corrosión en Grietas. ....	34

Corrosión por Picaduras.....	35
Corrosión por Cavitación.....	35
Corrosión selectiva.....	36
<b><i>Ensayos de corrosión.....</i></b>	<b>36</b>
Ensayos naturales.....	36
<i>Ensayos en la atmosfera.....</i>	<i>37</i>
<i>Ensayos en el agua o en el mar.....</i>	<i>37</i>
<i>Ensayos en el suelo.....</i>	<i>37</i>
<b><i>Ensayos de laboratorio.....</i></b>	<b>37</b>
Ensayo de niebla.....	37
Ensayo de inmersión alterna.....	37
Ensayos de inmersión continua.....	38
<b><i>Ensayo niebla salina.....</i></b>	<b>38</b>
<b><i>Factores que influyen en el proceso de corrosión.....</i></b>	<b>38</b>
Acidez de la solución.....	38
Sales disueltas.....	39
Capas protectoras.....	39
Concentración de oxígeno.....	39
Temperatura.....	40
Velocidad de flujo.....	40
<b><i>Protección ante la corrosión.....</i></b>	<b>40</b>
Inhibidores.....	40
Recubrimientos orgánicos.....	41
Recubrimientos metálicos.....	41
Electroplating.....	41

Galvanizado.....	41
Recubrimientos no metálicos. ....	41
Protección catódica.....	42
Protección anódica.....	42
<i>Interpretación de resultados de ensayos de corrosión.....</i>	<i>42</i>
<i>Controlador lógico programable (PLC).....</i>	<i>43</i>
Estructura interna de un PLC.....	43
Estructura externa de un PLC.....	44
<i>PLC Simatic S7-1200.....</i>	<i>44</i>
<i>Módulo Arduino UNO.....</i>	<i>45</i>
<i>Protocolos de comunicación.....</i>	<i>45</i>
Protocolo MODBUS. ....	46
Protocolo Profibus.....	46
Protocolo de comunicación ETHERNET. ....	47
<i>Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....</i>	<i>47</i>
Funciones de un sistema HMI.....	47
<i>Control PID .....</i>	<i>47</i>
Control Proporcional:.....	48
Control Integral:.....	48
Control Derivativa:.....	49
<i>Comunicación serie Maestro/Esclavo.....</i>	<i>49</i>
<i>Control PWM.....</i>	<i>50</i>
<i>Sensores .....</i>	<i>50</i>
Sensor de temperatura.....	50
Sensor de Nivel.....	51

<b>Actuadores .....</b>	<b>51</b>
Electroválvula. ....	51
Compresor. ....	52
Resistencia eléctrica calefactora .....	53
<b>Fundamentación Legal .....</b>	<b>53</b>
<b>Normas y reglamentos.....</b>	<b>53</b>
Norma ASTM-B117.....	53
<b>Sistemas de Variables.....</b>	<b>55</b>
Variable dependiente.....	55
Variable independiente.....	55
<b>Hipótesis .....</b>	<b>55</b>
<b>Operacionalización de las variables .....</b>	<b>56</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>57</b>
<b>Modalidad de investigación .....</b>	<b>57</b>
<b>De campo.....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliográfica .....</b>	<b>58</b>
<b>Tipos de investigación .....</b>	<b>58</b>
<b>Diseño de la investigación.....</b>	<b>58</b>
<b>Método de hallazgo: Inductivo .....</b>	<b>58</b>
<b>Método de contrastación: Experimental.....</b>	<b>58</b>
<b>Niveles de la investigación.....</b>	<b>59</b>
<b>Explorativa.....</b>	<b>59</b>
<b>Descriptiva.....</b>	<b>59</b>
<b>Investigación explicativa .....</b>	<b>59</b>
<b>Técnicas de recolección de datos .....</b>	<b>60</b>

<i>Observación del laboratorio</i> .....	60
<i>Instrumentos de medición</i> .....	60
<i>Técnicas de análisis de datos</i> .....	60
<i>Técnicas de comprobación de hipótesis</i> .....	61
Resultados de la investigación .....	62
Análisis de los resultados .....	62
Cámara de niebla salina. ....	63
<i>Enfoques y análisis de la cámara de niebla salina.</i> ....	63
PROPUESTA .....	64
Tema de la propuesta .....	64
Datos informativos .....	64
Objetivos .....	64
<i>Objetivo General</i> .....	64
<i>Objetivos Específicos</i> .....	65
Justificación de la Propuesta.....	65
Fundamentación de la propuesta .....	66
Diseño de la propuesta.....	67
<i>Resumen</i> .....	67
Soporte del equipo. ....	67
Cuerpo de la cámara de exposición. ....	68
Tapa de la cámara.....	71
Tanque principal de solución.....	72
Tanque auxiliar de solución.....	75
Sistema de calefacción de la cámara. ....	77
Sistema de generación de niebla.....	78

Sistema de suministro de aire. ....	79
Cubierta externa de la cámara. ....	81
Sistema eléctrico y automatización.....	82
Soporte de muestras de prueba. ....	85
Desagüe.....	85
<i>Arquitectura del proyecto.....</i>	<i>86</i>
Selección de componentes.....	87
<i>Selección de controlador lógico programable. ....</i>	<i>87</i>
Especificación técnica del controlador lógico programable. ....	87
Implementación del Controlador Lógico Programable PLC S7-1200.....	88
<i>Selección de compresor. ....</i>	<i>88</i>
<i>Criterio de selección de ARDUINO.....</i>	<i>90</i>
<i>Criterio de selección de módulo de comunicación PLC-ARDUINO.....</i>	<i>91</i>
Enlazar PLC a una Red de Trabajo. Se.....	91
Módulo Ethernet ENC28J60. ....	91
<i>Criterio de selección Transmisor de Temperatura.....</i>	<i>92</i>
Características Principales .....	93
Parámetros técnicos.....	93
<i>Criterio de selección de Sensor de Temperatura.....</i>	<i>94</i>
<i>Criterio de selección de Sensor de Nivel.....</i>	<i>95</i>
<i>Criterio de selección de Electroválvula. ....</i>	<i>96</i>
<i>Criterio de selección de Relé de Estado sólido .....</i>	<i>97</i>
Metodología para la ejecución de la propuesta.....	97
<i>Diseño de la cámara de niebla salina .....</i>	<i>97</i>
<i>Esquema de conexión de los elementos .....</i>	<i>98</i>

<b>Configuración de Módulo Arduino UNO .....</b>	<b>99</b>
<b>Configuración del PLC para la adquisición de las variables físicas del sistema.....</b>	<b>100</b>
<b>Comunicación de ARDUINO con el controlador lógico programable.....</b>	<b>106</b>
<b>Comunicación y configuración de NI OPC Server Con TIA Portal V15 .....</b>	<b>108</b>
<b>Configuración del software para recolección los datos .....</b>	<b>116</b>
<b>Adquisición de datos en NI LabVIEW 2020.....</b>	<b>117</b>
<b>Obtención de modelo matemático para obtener valores para el Control PID en el software MATLAB 2016 .....</b>	<b>119</b>
<b>Diseño de la pantalla en el Pc_System.....</b>	<b>122</b>
<b>Diseño de la interfaz gráfica HMI. ....</b>	<b>123</b>
<b>Pruebas de la Cámara de Niebla Salina.....</b>	<b>124</b>
<b>Preparación de la solución Cloruro de Sodio (NaCl) .....</b>	<b>124</b>
<b>Preparación de muestras.....</b>	<b>126</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>129</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>131</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>133</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>137</b>

**Índice de figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Corrosión</i> .....	33
<b>Figura 2</b> <i>Corrosión uniforme</i> .....	34
<b>Figura 3</b> <i>Corrosión galvánica</i> .....	34
<b>Figura 4</b> <i>Corrosión en Grietas</i> .....	35
<b>Figura 5</b> <i>Corrosión por picadura</i> .....	35
<b>Figura 6</b> <i>Corrosión por Cavitación</i> .....	36
<b>Figura 7</b> <i>Corrosión Selectiva</i> .....	36
<b>Figura 8</b> <i>Referencia interna de un PLC</i> .....	43
<b>Figura 9</b> <i>Partes de un PLC S7-1200</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Módulo Arduino Uno</i> .....	45
<b>Figura 11</b> <i>Esquema básico de un control PID</i> .....	48
<b>Figura 12</b> <i>Comunicación serie Maestro-Esclavo</i> .....	49
<b>Figura 13</b> <i>Electroválvula</i> .....	52
<b>Figura 14</b> <i>Compresor</i> .....	52
<b>Figura 15</b> <i>Resistencia eléctrica calefactora</i> .....	53



<b>Figura 16</b> <i>Soporte del equipo</i> .....	68
<b>Figura 17</b> <i>Medición del cartón prensado para el molde de la cámara</i> .....	69
<b>Figura 18</b> <i>Montaje del molde de la cámara de exposición</i> .....	70
<b>Figura 19</b> <i>Armado de cámara de exposición con fibra de vidrio</i> .....	70
<b>Figura 20</b> <i>Desmontaje molde de cartón prensado</i> .....	71
<b>Figura 21</b> <i>Estructura tapa de la cámara</i> .....	72
<b>Figura 22</b> <i>Tanque principal de solución</i> .....	73
<b>Figura 23</b> <i>Marco estructural tanque principal de solución</i> .....	73
<b>Figura 24</b> <i>Estructura tanque principal de solución</i> .....	74
<b>Figura 25</b> <i>Conexión y componentes de tanque principal al tanque auxiliar</i> .....	75
<b>Figura 26</b> <i>Tanque auxiliar de solución</i> .....	75
<b>Figura 27</b> <i>Válvula de llenado mecánico</i> .....	76
<b>Figura 28</b> <i>Resistencia eléctrica calefactora</i> .....	77
<b>Figura 29</b> <i>Válvula atomizadora</i> .....	78
<b>Figura 30</b> <i>Conexión de entrada AIRE-SOLUCIÓN</i> .....	78
<b>Figura 31</b> <i>Cono difusor</i> .....	79

<b>Figura 32</b> <i>Compresor Marca DONGSONG</i> .....	80
<b>Figura 33</b> <i>Marco estructural Compresor DongSong</i> .....	80
<b>Figura 34</b> <i>Plancha galvanizada para la cubierta externa</i> .....	81
<b>Figura 35</b> <i>Plancha galvanizada recubierta de lana de vidrio</i> .....	82
<b>Figura 36</b> <i>Sensor de temperatura PT100</i> .....	82
<b>Figura 37</b> <i>Sensor de nivel tipo boya</i> .....	83
<b>Figura 38</b> <i>Electroválvula</i> .....	83
<b>Figura 39</b> <i>Esquema panel de control</i> .....	84
<b>Figura 40</b> <i>Soporte de muestra</i> .....	85
<b>Figura 41</b> <i>Desagüe</i> .....	86
<b>Figura 42</b> <i>Esquema de la cámara de niebla salina didáctica con sistema multifuncional</i> .....	86
<b>Figura 43</b> <i>Compresor DongSong silencioso</i> .....	89
<b>Figura 44</b> <i>Módulo Ethernet ENC28J60</i> .....	92
<b>Figura 45</b> <i>Transmisor de temperatura HIC TCH1</i> .....	93
<b>Figura 46</b> <i>Sensor de temperatura tipo PT100</i> .....	94

<b>Figura 47</b> <i>Sensor de Nivel tipo Boya</i> .....	95
<b>Figura 48</b> <i>Electroválvula SNS 2W-025-08</i> .....	96
<b>Figura 49</b> <i>Diagrama de flujo de diseño de la cámara de niebla salina</i> .....	97
<b>Figura 50</b> <i>Esquema de conexión de los elementos</i> .....	98
<b>Figura 51</b> <i>Programación Control PWM Arduino UNO</i> .....	100
<b>Figura 52</b> <i>Creación de nuevo proyecto</i> .....	100
<b>Figura 53</b> <i>Selección del PLC Siemens</i> .....	101
<b>Figura 54</b> <i>Configuración de dispositivo</i> .....	101
<b>Figura 55</b> <i>Asignación dirección IP</i> .....	102
<b>Figura 56</b> <i>Exploración del PLC</i> .....	102
<b>Figura 57</b> <i>Declaración de variables</i> .....	103
<b>Figura 58</b> <i>Inicio de programación TIA Portal</i> .....	103
<b>Figura 59</b> <i>Lectura y conversión de valores de PT100</i> .....	104
<b>Figura 60</b> <i>Regresión lineal</i> .....	104
<b>Figura 61</b> <i>Acondicionamiento de la señal</i> .....	105
<b>Figura 62</b> <i>Control de temperatura con respecto al Setpoint</i> .....	105

<b>Figura 63</b> <i>Control de activación de electroválvula</i> .....	106
<b>Figura 64</b> <i>Bloque de comunicación MB_CLIENT_DB</i> .....	106
<b>Figura 65</b> <i>New Channel OPC Server</i> .....	108
<b>Figura 66</b> <i>Device Driver OPC Server</i> .....	109
<b>Figura 67</b> <i>Network Interface OPC Server</i> .....	109
<b>Figura 68</b> <i>Configuración por defecto OPC Server</i> .....	110
<b>Figura 69</b> <i>Resumen de configuración OPC Server</i> .....	110
<b>Figura 70</b> <i>Añadir dispositivo OPC Server</i> .....	111
<b>Figura 71</b> <i>Modelo de dispositivo OPC Server</i> .....	111
<b>Figura 72</b> <i>Dirección IP del dispositivo OPC Server</i> .....	112
<b>Figura 73</b> <i>Ventanas emergentes OPC Server</i> .....	112
<b>Figura 74</b> <i>Resumen configuración de dispositivo OPC Server</i> .....	113
<b>Figura 75</b> <i>Creación de carpetas para variables OPC Server</i> .....	113
<b>Figura 76</b> <i>Configuraciones variables OPC Server</i> .....	114
<b>Figura 77</b> <i>Variables creadas OPC Server</i> .....	114
<b>Figura 78</b> <i>Permitir acceso vía comunicación PUT/GET</i> .....	115

<b>Figura 79</b> <i>Comunicación TIA Portal V15- OPC Server 2020</i> .....	115
<b>Figura 80</b> <i>Interfaz gráfica del sistema LabVIEW</i> .....	116
<b>Figura 81</b> <i>Archivo tipo .xlsx</i> .....	116
<b>Figura 82</b> <i>Front Panel del sistema en LabVIEW</i> .....	117
<b>Figura 83</b> <i>Ejecución FrontPanel en Labview 2020</i> .....	118
<b>Figura 84</b> <i>Determinación de temperatura en LabVIEW 2020</i> .....	118
<b>Figura 85</b> <i>Matriz OUTPUT en Matlab</i> .....	119
<b>Figura 86</b> <i>Ingreso valores en columna de Variables OUTPUT</i> .....	119
<b>Figura 87</b> <i>Aplicación PID Tuner</i> .....	120
<b>Figura 88</b> <i>Ingreso de valores en STEP RESPONSE</i> .....	120
<b>Figura 89</b> <i>Estabilización de parámetros de control</i> .....	121
<b>Figura 90</b> <i>Curva estabilizada de la planta</i> .....	121
<b>Figura 91</b> <i>Ingreso parámetros de control en PID COMPACT</i> .....	122
<b>Figura 92</b> <i>Configuración PC_System</i> .....	122
<b>Figura 93</b> <i>Asignación dirección IP PC_System</i> .....	123
<b>Figura 94</b> <i>Pantalla de presentación HMI</i> .....	123

<b>Figura 95</b> <i>Pantalla HMI de monitoreo y control del sistema</i> .....	124
<b>Figura 96</b> <i>Muestras de metales libre de impurezas</i> .....	126
<b>Figura 97</b> <i>Presencia de corrosión en las muestras de metales</i> .....	127

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Operacionalización de variable independiente</i> .....	56
<b>Tabla 2</b> <i>Operacionalización de variable dependiente</i> .....	56
<b>Tabla 3</b> <i>Parámetros Cámara de Niebla Salina</i> .....	63
<b>Tabla 4</b> <i>Partes de la cámara de niebla salina</i> .....	66
<b>Tabla 5</b> <i>Propiedades mecánicas Tubo negro estructural</i> .....	67
<b>Tabla 6</b> <i>Características generales de los materiales del cuerpo de la cámara de exposición.</i> .....	68
<b>Tabla 7</b> <i>Propiedades físicas y químicas del acrílico</i> .....	72
<b>Tabla 8</b> <i>Características Válvula de llenado FLUIDMASTER 747</i> .....	76
<b>Tabla 9</b> <i>Propiedades de Lana de Vidrio</i> .....	81
<b>Tabla 10</b> <i>Controladores industriales (PLC)</i> .....	87
<b>Tabla 11</b> <i>Características técnicas ARDUINO</i> .....	90
<b>Tabla 12</b> <i>Especificaciones técnicas Módulo Ethernet ENC28J60</i> .....	92
<b>Tabla 13</b> <i>Librerías Arduino</i> .....	99
<b>Tabla 14</b> <i>Parámetros de configuración MB_CLIENT_DB</i> .....	107

<b>Tabla 15</b> <i>Variables creadas OPC Server</i> .....	114
<b>Tabla 16</b> <i>Comandos Front Panel LabView</i> .....	117
<b>Tabla 17</b> <i>Peso y medida de materiales utilizados en el ensayo de corrosión</i> .....	126
<b>Tabla 18</b> <i>Peso de las muestras de metales después del ensayo</i> .....	127



**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> <i>Ciclo de trabajo Control PWM</i> .....	50
<b>Ecuación 2</b> <i>Pendiente de una recta</i> .....	105
<b>Ecuación 3</b> <i>Porcentaje de peso en volumen</i> .....	125

## Resumen

El presente trabajo de titulación establece los diferentes parámetros para el diseño y construcción de una cámara de niebla salina mediante la Norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión acelerada para el Laboratorio de catálisis y corrosión. La parte interna de la cámara de exposición está construida con fibra de vidrio de 4 mm de espesor. La tapa de la cámara de exposición y los soportes de las muestras son fabricados en acrílico por su gran resistencia mecánica y química. Los marcos estructurales de la cámara de exposición, tanque principal y compresor están contruidos con tubo cuadrado negro de 1" que brinda estabilidad a todo el equipo y sus componentes. El sistema de control consta de un controlador lógico programable Siemens S7-1200, el mismo que controla y monitorea los comportamientos de las variables físicas. La comunicación con el módulo Arduino Uno es por medio del módulo Ethernet ENC28J60, el mismo que realiza un control PWM para activar la resistencia eléctrica de 1500 Watts. El transmisor HIC TCH1 capta los valores medidos por el sensor de temperatura PT100 y los envía al PLC. El compresor silencioso de ¾ HP suministra de aire comprimido a la electroválvula, la misma que es activada una vez que la temperatura interna haya llegado a los 35°C y permite el paso del aire comprimido hasta la válvula atomizadora donde se realiza la mezcla Aire-Solución. El control de nivel de solución salina en el tanque principal es monitoreado con una boya de nivel industrial.

Palabras claves:

- **CÁMARA DE NIEBLA SALINA**
- **ENSAYOS DE CORROSIÓN**
- **SISTEMA DE CONTROL MULTIFUNCIONAL**

### **Abstract**

The present work establishes the different parameters for the design and construction of a salt spray chamber according to ASTM B-117 Standard for accelerated corrosion tests for the Catalysis and Corrosion Laboratory. The inner part of the exposure chamber is constructed of 4 mm thick fiberglass. The lid of the exposure chamber and the sample holders are made of acrylic for its high mechanical and chemical resistance. The structural frames of the exposure chamber, main tank and compressor are built with 1" black square tube that provides stability to all the equipment and its components. The control system consists of a programmable logic controller Siemens S7-1200, which controls and monitors the behavior of the physical parameters. The communication with the Arduino Uno module is through the Ethernet module ENC28J60, which performs a PWM control to activate the electrical resistance of 1500 Watts. The HIC TCH1 transmitter captures the values measured by the PT100 temperature sensor and sends them to the PLC. The silent compressor  $\frac{3}{4}$  HP supplies compressed air to the solenoid valve, which is activated once the internal temperature has reached 35°C and allows the passage of compressed air to the atomizing valve where the air-solution mixture is made. The saline solution level control in the main tank is monitored with an industrial level buoy.

Keywords:

- **SALT SPRAY CHAMBER**
- **CORROSION TESTS**
- **MULTIFUNCTIONAL CONTROL SYSTEM**

## Capítulo I

### 1. Problema

#### 1.1 Descripción del problema

La cámara de niebla salina es un equipo de laboratorio especializado en realizar pruebas de corrosión de forma acelerada a diferentes metales, el mismo que genera una niebla corrosiva y se intervienen en el control de las variables del proceso. El fenómeno de la corrosión es el proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas y electroquímicas. Este proceso tiene muchas consecuencias a nivel económico, seguridad y de conservación de materiales, por lo que su estudio es de mucha importancia.

En la actualidad, la cámara de niebla salina es muy necesaria en la industria y en cualquier institución, con el objetivo de dar paso a la experimentación sobre la corrosión y evaluar las propiedades anticorrosivas de varios recubrimientos y materiales.

El laboratorio de catálisis y corrosión de la carrera de Ingeniería en Petroquímica instalada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga no cuenta con equipos para pruebas de corrosión acelerada, lo cual dificulta a los estudiantes llevar a la práctica los conocimientos teóricos, en ensayos de corrosión en los metales utilizados en las industrias.

Por esta razón se ve necesario realizar el diseño y construcción de la cámara de niebla salina didáctica en base a la norma ASTM-B117, la misma que establece los parámetros y/o condiciones que se debe cumplir para una adecuada realización del ensayo.

Esta cámara es una herramienta didáctica que permitirá elaborar estudios sobre los efectos que la corrosión tendrá sobre algunos materiales, y los beneficios que se puede conseguir a partir de los datos obtenidos en ellos.

## 1.2 Antecedentes

El ensayo de niebla salina está normalizado y es un método popular de ensayo para corrosión, que se utiliza para comprobar la resistencia a la corrosión de los materiales y la superficie de los recubrimientos. Por lo general, los materiales a ensayar son metales o su recubrimiento de superficie que está destinada a proporcionar un grado de corrosión de protección para el metal subyacente. Ensayo de pulverización de niebla salina es una prueba de corrosión acelerada que produce un ataque corrosivo para muestras recubiertas con el fin de evaluar la idoneidad del revestimiento para su uso como un acabado protector. La aparición de productos de corrosión se evalúa después de un período predeterminado de tiempo. Duración de la prueba depende de la resistencia a la corrosión del recubrimiento generalmente, cuanto más resistente a la corrosión del revestimiento más largo es el período de pruebas antes de la aparición de la corrosión. (*NORMA ASTM B-117, 1976*)

El ensayo de niebla salina es popular debido a que es relativamente barato, rápido, bien estandarizada y razonablemente repetible. La mayoría de las cámaras de niebla salina que hoy en día se está utilizando para mantener los procesos de recubrimiento tales como pre-tratamiento y pintura, la galvanización, y similares, en forma comparativa.

ASTM B117 fue el primer estándar de niebla salina reconocida internacionalmente, publicado originalmente en 1939. La construcción de la cámara, procedimiento de

prueba y parámetros de ensayo están normalizados bajo estándares nacionales e internacionales. Esta norma describe la información necesaria para llevar a cabo esta prueba; parámetros de ensayo tales como temperatura, presión del aire de la solución pulverizada, la preparación de la pulverización de la solución, concentración y pH, comprobación diaria de parámetros de prueba es necesaria para demostrar el cumplimiento de la norma, gabinetes de pruebas se fabrican de acuerdo con los requisitos especificados aquí. (*NORMA ASTM B-117, 1976*)

### **1.3 Justificación e importancia**

Actualmente en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga no existe un equipo en el que se pueda realizar ensayos de corrosión acelerada, por la cual los estudiantes de ingeniería no pueden complementar los conocimientos teóricos impartidos en asignaturas referentes a ensayos de corrosión y desgaste del material.

Para resolver esta problemática es necesario que los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica, como futuros profesionales apliquen los conocimientos impartidos durante la carrera para la elaboración de la cámara de niebla salina lo cual permitirá fortalecer los conocimientos de los estudiantes al momento de realizar ensayos de corrosión en los metales y recubrimientos metálicos, para el ensayo que se llevará a cabo una vez que esté listo el equipo se usará acero inoxidable AISI 304, AISI 201 o AISI 430 la selección será muy dependiente del que encontremos en el mercado nacional en el mismo momento que se realizará el ensayo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 *Objetivo General***

- Diseñar y construir una cámara de niebla salina didáctica mediante la norma ASTM-B117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión acelerada, en el laboratorio de catálisis y corrosión de la carrera de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga.

### **1.4.2 *Objetivos Específicos***

- Dimensionar, seleccionar, diseñar el sistema de control de las principales variables que intervendrán en el proceso.
- Implementar un ensayo de corrosión en la cámara de niebla salina para verificar el correcto funcionamiento del equipo, según la Norma ASTM-B117
- Realizar un manual de procedimientos para el correcto funcionamiento de la cámara de niebla salina.

## Capítulo II

### 2. Marco teórico

En el presente capítulo se determina los conceptos que se requiere para el desarrollo de una cámara de niebla salina, la técnica y la ingeniería para el diseño, la cual permite crear el conocimiento previo para el desarrollo del proyecto, se muestra metodologías de control, dispositivos y equipos utilizados en el proceso de este proyecto.

#### 2.1 Antecedentes de investigación

El trabajo de titulación “Diseño y construcción de una Cámara de Niebla Salina y su uso en un Estudio de Recubrimientos de Níquel por Electrodeposición” (RECALDE, 2014). Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero mecánico, el autor Oscar Andrés Recalde desarrolla una cámara que no tiene autonomía debido a que los contenedores internos y externos de la solución salina deben ser controlados por un operario lo que limita el tiempo de ensayo.

El trabajo de titulación “Diseño y construcción de una cámara de niebla para la carrera de ingeniería química de la ESPOCH”.(SCHMIEDL & AUDELO, 2017) Trabajo de titulación presentado para optar por el grado académico de ingeniero químico. El control que usan en este proyecto no es automático por lo que tiene un grado de dificultad en su uso al momento de hacerlo manualmente la apertura de válvulas.

El trabajo de titulación “Diseño y fabricación de una Cámara de Niebla Salina para Realizar Ensayos de Corrosión, Según la Norma ASTM B117 para el Laboratorio de materiales de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia”(FERRER & PINILLA, 2015). Proyecto para optar el título de ingeniero mecánico, realizan un proyecto similar al que se propone realizar, pero el diseño previsto permite una mejor automatización por el uso de un sistema multifuncional para



un mejor monitoreo y autonomía, ya que en esta tesis realizada su control es mediante pulsadores on/off y controladores de tiempo y temperatura.

## **2.1. Fundamentación teórica**

### **2.1.1. Corrosión**

Es la disolución de las propiedades físicas y químicas en los materiales metálicos y sus aleaciones, debido a una reacción con su medio ambiente. Las características principales de este deterioro, solo ocurre en vista de un electrolito, provocando regiones plenamente identificadas y conocidas como anódicas en donde se producirá el deterioro del metal y catódicas en la cual posteriormente se presentará la inmunidad del metal. (Salazar Jiménez, 2015)

#### **Figura 1**

*Corrosión*



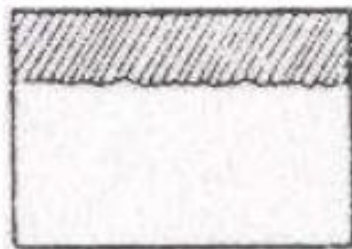
*Nota:* La presencia de corrosión en los metales. Tomado de (Salazar Jiménez, 2015)

### **2.1.2 Formas de corrosión**

**Corrosión Uniforme.** Se refiere al deterioro que sufre el material y se extiende en toda la superficie metálica de forma homogénea, este fenómeno permite calcular fácilmente la vida útil de los materiales expuestos ya que se manifiesta en relación directa entre la pérdida de material y reducción de espesor. (Salazar Jiménez, 2015)

**Figura 2**

*Corrosión uniforme*

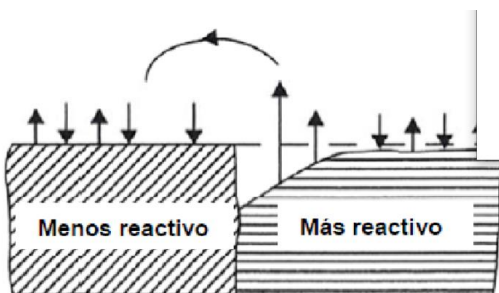


*Nota:* Presencia de corrosión uniforme. Tomado de (Navarrete, 2007)

**Corrosión Galvánica.** Se presenta en la agrupación física o eléctrica entre metales de distinta naturaleza, los cuales se enfrentan a una solución corrosiva ya que uno de los metales es más activo que el otro, por lo tanto, se corroe con más rapidez que si estuviese aislado. (Salazar Jiménez, 2015)

**Figura 3**

*Corrosión galvánica*



*Nota:* Explicación sobre la corrosión galvánica. Tomado de (Soto, 2012)

**Corrosión en Grietas.** Es un fenómeno que se presenta cuando un metal está sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y a tensiones mecánicas de tracción, provocando fisuras que se extienden al interior del metal hasta fracturarse. (Salazar Jiménez, 2015)

**Figura 4**

*Corrosión en Grietas*

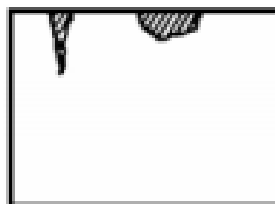


*Nota:* Presencia de corrosión en grietas. Tomado de (Navarrete, 2007)

**Corrosión por Picaduras.** Es el fenómeno que se presenta en puntos aislados de superficies metálicas pasivas, se trasmite al interior del metal generando túneles microscópicos, este proceso es lento y se hace presente luego de meses o años, para evitar este tipo de corrosión se necesita una superficie limpia y homogénea en la que no exista incrustaciones, defectos o rugosidad. (Salazar Jiménez, 2015)

**Figura 5**

*Corrosión por picadura*



*Nota:* Presencia de corrosión por picaduras en superficies metálicas. Tomado de (Navarrete, 2007)

**Corrosión por Cavitación.** Es creada por el origen e implosión de burbujas de aire de un líquido debido a la turbulencia, las elevadas presiones formadas por este colapso pueden disolver el metal y reducir las partículas protectoras permitiendo así la generación de ceca corrosión. (Salazar Jiménez, 2015)

**Figura 6**

Corrosión por Cavitación

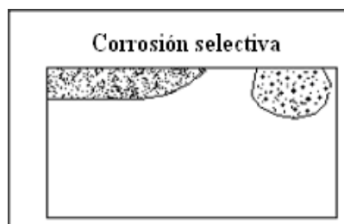


*Nota:* Presencia de corrosión por cavitación en las superficies de los metales. Tomado de (Navarrete, 2007)

**Corrosión selectiva.** Este tipo de corrosión destruye a los metales nobles como son el oro – cobre, plata – cobre se presenta como una capa similar al metal en zonas afectadas, dificultando detectar la corrosión. (SCHMIEDL & AUDELO, 2017)

**Figura 7**

*Corrosión Selectiva*



*Nota:* Presencia de corrosión selectiva en los metales. Tomado de (Navarrete, 2007)

### 2.1.3 Ensayos de corrosión

#### 2.1.3.1 Ensayos naturales

Permiten un análisis más real del material, este tipo de ensayo es el que más sobresale para el estudio de corrosión ya que los resultados son exactos, pero se requiere largo periodos de tiempo en el que se presenten en juego los factores acelerantes.

**Ensayos en la atmosfera.** Los agentes modificativos que aquí se presentan son irradiación solar, radiación del suelo, temperatura del aire, humedad, precipitaciones, viento, impurezas también se toma en cuenta las estaciones del año y el lugar en que se va a realizar el ensayo para evitar perturbaciones debido a gases residuales, humos entre otros.

**Ensayos en el agua o en el mar.** Es importante tomar en cuenta las corrientes fuertes de agua que puede arrastrar o perder las probetas, para realizar el ensayo se considera el secado y humedecimiento de las probetas.

**Ensayos en el suelo.** Para su efectivo estudio sobre la corrosión de los materiales enterrados, deben estar regulados la calidad de los materiales y el medio agresivo a las condiciones de servicio en este tipo de ensayo no se puede realizar con tubos, ni cables de menos de 1m de longitud y los objetos huecos deben estar completamente taponados para garantizar resultados claros. (Dahbura, 2012)

#### **2.1.4 Ensayos de laboratorio**

**Ensayo de niebla.** Para este ensayo se emplea dispositivos de pulverización con aire a presión expulsar la solución agresiva para que estas actúen sobre las probetas y así realizar el estudio de corrosión.

**Ensayo de inmersión alterna.** Se produce el humedecimiento y secado en las probetas, se someten a estos factores durante un cierto tiempo según los efectos que se desea imitar para ello se emplean medios agresivos como es el agua destilada o soluciones al 3% de NaCl.

**Ensayos de inmersión continua.** Las soluciones agresivas están en vasijas de vidrio y las probetas están dentro de estas y si se desea evitar el efecto del oxígeno contenido en el aire, se realizan los ensayos en vasijas cerradas lo más importante es tener un líquido en reposo con una distribución homogénea de oxígeno.(Dahbura, 2012)

### **2.1.5 Ensayo niebla salina**

Es una máquina cerrada en la cual se colocan muestras metálicas para poder realizar el estudio de corrosión, editando las condiciones que tendrán lugar en su interior como son la temperatura, humedad, caudal de pulverización y concentración del ambiente corrosivo.

En esta cámara se realiza el análisis de corrosión acelerada para posibles mejoras que se les pueda dar a los materiales ante este fenómeno corrosivo, por tal razón los fabricantes de piezas para automóvil, barco, ferrocarril, así como las industrias de pintura incluyen dentro de sus protocolos de calidad, los ensayos de niebla salina con el objetivo de renovar sus productos.(Padrón & Pérez, 2016)

### **2.1.6 Factores que influyen en el proceso de corrosión**

Existen diversos factores que influyen el proceso de corrosión, donde en primer lugar se debe determinar las características del material sobre el que incide y el medio que rodea a este. A continuación, se mencionan algunos factores, considerados como los de mayor efecto sobre el proceso corrosivo.

**Acidez de la solución.** El pH de una solución es una propiedad que define la cantidad de iones de hidrógeno libres en dicha solución. Si el pH es menor a 7 ( $\text{pH} < 7$ ) se dice que la solución es ácida. Esto significa que existe una concentración

relativamente alta de iones hidrógeno libres en la solución, los cuales son capaces de recibir electrones para poder estabilizarse.

Debido a la capacidad de aceptar electrones, las soluciones ácidas son más corrosivas que las soluciones tanto neutrales ( $\text{pH} = 7$ ) como alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ), ya que permiten que la zona anódica reaccione en mayor proporción, ya que se liberan electrones de tales reacciones. (Salazar Jiménez, 2015)

**Sales disueltas.** Las sales ácidas, al diluirse en la solución electrolítica, disminuyen su pH, acelerando el proceso de corrosión por el efecto de acidez. Algunos ejemplos de sales ácidas son, el cloruro de aluminio, el cloruro de hierro y el cloruro de amonio.

Por otro lado, las sales alcalinas, incrementan el pH de la solución electrolítica, por lo que en algunos casos funcionan como inhibidores del proceso de corrosión. Ejemplos de estas sales son el fosfato trisódico, tetraborato de sodio, silicato de sodio y el carbonato de sodio (Salazar Jiménez, 2015)

**Capas protectoras.** La tendencia a la corrosión de un material se puede reducir con la existencia de capas que protejan su superficie. Estas capas pueden ser aplicadas artificialmente, en forma de recubrimientos; o pueden aparecer a través del fenómeno de pasividad, formándose capas de óxidos metálicos que impiden el avance del proceso corrosivo (Salazar Jiménez, 2015)

**Concentración de oxígeno.** La concentración de oxígeno en el medio electrolítico puede acelerar o retardar el proceso de corrosión, dependiendo de la naturaleza del material). Para el caso de materiales ferrosos, al aumentar la

concentración de O<sub>2</sub>, aumenta la velocidad de corrosión pues el producto corrosivo no protege al material. Mientras que, para materiales pasivos, cuan mayor sea la concentración de O<sub>2</sub>, mayor capacidad tendrá el material de formar la capa protectora que lo caracteriza. (Salazar Jiménez, 2015)

**Temperatura.** La velocidad de corrosión tiende a aumentar al incrementar la temperatura, debido a que se acelera la difusión del oxígeno del medio hacia el material afectado, inclusive a través de capas de pasivación, fragilizando a este. Experimentalmente se ha demostrado que un aumento en la temperatura de 2° C, incrementa al doble la tasa de corrosión, aproximadamente. (Salazar Jiménez, 2015)

**Velocidad de flujo.** En sistemas de transporte de fluidos, al aumentar la velocidad de flujo del medio, por lo general, aumenta la tasa de corrosión, debido a que: permite a las sustancias corrosivas alcanzar y atacar zonas aún no afectadas, y evita en cierta medida la formación y/o acumulación de capas resistentes a la corrosión que protejan al material por efecto erosivo. (Salazar Jiménez, 2015)

### **2.1.7 Protección ante la corrosión.**

La selección de un material resistente a la corrosión, siempre es el primer tipo de control que se debe considerar. Esto en muchas ocasiones no es posible, ya que este es limitado. Lo cual hace que la selección de un material resistente no sea factible y/o posible, por lo que se deben considerar otros tipos de métodos para esto.

**Inhibidores.** Un inhibidor es una sustancia química que, al añadirse al medio corrosivo, disminuye la velocidad de corrosión.



**Recubrimientos orgánicos.** Los recubrimientos orgánicos son de sustancias a base de polímeros (pinturas), resistentes a la degradación, que se emplean para recubrir el material por proteger. Estos actúan mediante ya sea, (1) la formación de una barrera, que impide en gran medida la penetración de oxígeno y agua, o (2) la inhibición del proceso de corrosión, al incrementar tanto la resistividad eléctrica como la iónica, cortando el ciclo de corrosión. (Salazar Jiménez, 2015)

**Recubrimientos metálicos.** Consiste en recubrir el material a proteger con algún metal que tenga mayor resistencia a la corrosión. Existen diferentes métodos para efectuar estos recubrimientos, y los más utilizados son el electroplating y el galvanizado.

**Electroplating.** Es un proceso de protección en el que se utiliza una corriente eléctrica externa para depositar un material con mayor resistencia a la corrosión sobre su superficie.

**Galvanizado.** El material por proteger se sumerge sobre un baño del metal de recubrimiento, el cual tienen un mayor potencial electroquímico. (Salazar Jiménez, 2015)

**Recubrimientos no metálicos.** Trata sobre recubrir el material a proteger con el uso de un material no metálico, que impida el proceso de corrosión. Existen diferentes métodos para efectuar estos recubrimientos. El más utilizado es el anodizado, este método se emplea en materiales pasivables, y consiste en el uso de una corriente eléctrica sobre el material por proteger, de modo que el potencial electroquímico del sistema induzca a un comportamiento anódico a dicho material, generando el desarrollo de una capa de pasivación. (Salazar Jiménez, 2015)

**Protección catódica.** Radica en modificar relativamente el valor del potencial electroquímico del material por proteger, haciendo que este material se comporte como un cátodo. Se emplea mayormente en sistemas enterrados o inmersos en agua de mar.

**Protección anódica.** Mucho menos conocida que el método de protección catódica, la protección anódica consiste en disminuir el potencial electroquímico del material a proteger, a través de la inyección de una corriente externa, volviéndolo más anódico, lo cual induce al material hacia un estado de pasivación, formándose la capa pasivada que protege al material. Al mantener la corriente externa, la capa de pasivación continúa en constante regeneración, evitando que se deteriore el material. Solo puede ser empleado en algunos tipos de materiales, sobre todo los metales de transición. (Salazar Jiménez, 2015)

### ***2.1.8 Interpretación de resultados de ensayos de corrosión***

En la interpretación de resultados de ensayos de corrosión se debe tener en cuenta y observar los distintos comportamientos y variaciones de la superficie de las muestras de metal, e incluso del agente corrosivo, los mismos que se detallan a continuación.

- Superficie del Metal.
- Observación Microscópica de la Superficie.
- Reconocimiento de Defectos Superficiales y Grietas.
- Determinación de la Variación de Peso.
- Determinación de la Disminución del Espesor.
- Determinación de la Naturaleza y Profundidad de Ataque.

### 2.1.9 Controlador lógico programable (PLC)

Los controladores lógicos programables (PLC), forman parte del centro de la automatización industrial. En la actualidad se ha innovado con una gran variedad de PLC con sus propias características en el lenguaje de programación, se debe usar el software adecuado para cada tipo de PLC. (Molina Vuistaz et al., 2017)

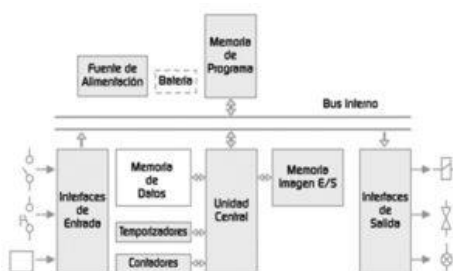
Los controladores lógicos programables son elementos de automatización creados para el control de tecnologías, que con una lógica programable que acuerda información recibida por los sensores, y a la vez procesan la información y envían señales a un actuador dependiendo del método y concordancia del programa. (Molina Vuistaz et al., 2017)

La estructura de los PLC's es muy común en los diferentes modelos ya que presentan una memoria (CPU), con ranuras para entradas y salidas analógicas o digitales, que permite realizar cualquier tipo de aplicación..(Molina Vuistaz et al., 2017)

**Estructura interna de un PLC.** En la Figura 8 se detalla el diagrama de bloques correspondientes a la estructura interna de un PLC.

#### Figura 8

*Referencia interna de un PLC*



*Nota:* Diagrama de bloques de la estructura interna de un PLC. Tomado de (Hernández, 2018)

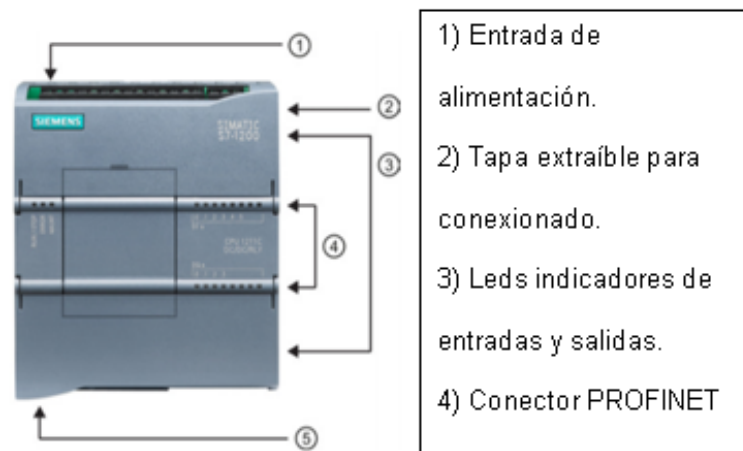
**Estructura externa de un PLC.** La estructura externa de un PLC se refiere al aspecto físico del mismo, bloques o elementos en que está dividido.

### 2.1.10 PLC Simatic S7-1200

Los controladores SIMATIC S7-1200 mostrado en la Figura 9, son utilizados considerablemente en la industria por sus características de alta capacidad de procesamiento y la facilidad de programación y configuración. (SIEMENS, 2018)

**Figura 9**

*Partes de un PLC S7-1200*



*Nota:* Especificación de las diferentes partes de un PLC SIEMENS S7-1200. Tomado de (SIEMENS, 2018)

La CPU del controlador concentra un microprocesador, circuitos de entrada y salida, una fuente de alimentación integrada, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa. (SIEMENS, 2018)

### **2.1.11 Módulo Arduino UNO.**

El módulo Arduino UNO mostrado en la Figura 10 es una placa electrónica que constituye en un microcontrolador (ATmega 328). Consta de:

- 14 pines digitales E/S.
- 6 entradas analógicas.
- Resonador cerámico 16 MHz.
- Conexión USB
- Conector de alimentación.
- Cabecera ICSP.
- Botón de reinicio.(Molina Cruz et al., 2019)

#### **Figura 10**

*Módulo Arduino Uno*



*Nota:* Imagen referencial de un módulo Arduino Uno. Tomado de (ARDUINO EDUCATION, 2021)

### **2.1.12 Protocolos de comunicación**

Se puede precisar que los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas que permite intercambios de datos entre varios dispositivos que constituyen una red. Favorecen a instaurar la comunicación entre los diferentes dispositivos ya sean para el fin de automatizar, de interactuar, de controlar.

**Protocolo MODBUS.** MODBUS es un protocolo de comunicación que por su bajo costo, funcionalidad, diseño de atención y respuesta y el buen manejo de datos en una red de comunicación tipo SCADA, por esta razón este protocolo tiene impacto y éxito en las comunicaciones industriales.(Flores et al., 2017)

MODBUS realiza la comunicación de equipos bajo una arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, donde el maestro o cliente es encargado de iniciar la interacción entre los dispositivos con la capacidad de transferir datos con un número variable de esclavos.(Flores et al., 2017)

El protocolo MODBUS contiene las siguientes interfaces:

- La interfaz RS-232 es empleada cuando es necesario transmitir y recibir datos de manera paralela.
- La interfaz RS-485 se encarga de transmitir y recibir datos, pero no es necesario hacerlo de manera compartida.
- Protocolo MODBUS TC/IP está basado en la tecnología ETHERNET con medio físico y dos protocolos basados en comunicación serial MODBUS RTU Y MODBUS ASCII. (Flores et al., 2017)

**Protocolo Profibus.** El protocolo Profibus es uno de los estándares de red de bus de campo abierto e independiente, donde la interfaz de ellos permite amplia aplicación en procesos, fabricación y automatización.

Profibus permite que exista una transferencia de datos de manera confiable entre dos tipos de equipos los cuales son denominados maestros y esclavos, los maestros también denominados como estaciones activas envían datos de salidas al esclavo o estaciones pasivas, y obtienen una respuesta.(Logicbus, 2019)

**Protocolo de comunicación ETHERNET.** Ethernet designa a una tecnología que permite que los dispositivos de redes de datos conectados por cable se comuniquen entre sí. (Friedrich & Ardenghi, 2009)

Así, en una red Ethernet los dispositivos pueden constituir una red e intercambiar paquetes de datos. De esta manera, una red local (LAN) se crea mediante conexiones Ethernet.

El protocolo Ethernet debe procurar que la comunicación debe ser confiable debido a la información que lleva de varios procesos.(Friedrich & Ardenghi, 2009)

### ***2.1.13 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)***

La interfaz hombre-máquina o HMI (Human Machine Interface) se define como una ventana de un proceso donde el usuario y el proceso interactúan. La HMI representa el medio de interacción entre un usuario y un determinado hardware, debe ser capaz de mostrar al usuario datos básicos de todo sistema de control de procesos, tales como variable de proceso, variable de control y setpoint, todo representado a tiempo real, en el momento mismo de la ejecución de las diferentes variaciones.

**Funciones de un sistema HMI.** Un HMI establece varias funciones dentro de su marco de operación como monitoreo, supervisión, alarmas, control, y registros históricos.

### ***2.1.14 Control PID***

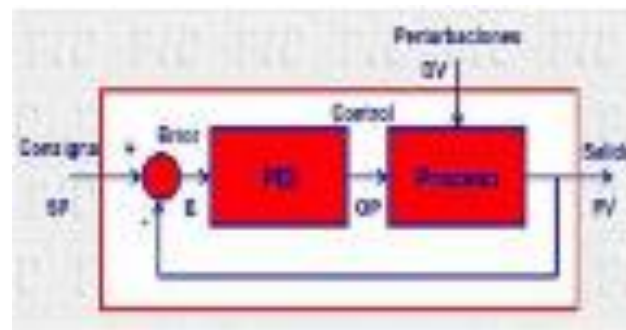
El control Proporcional-Integral-Derivativo (PID) es el sistema de control más usado y requerido en la industria. Se debe a su rendimiento fuerte en una amplia gama

de condiciones de funcionamiento y en parte a su claridad funcional, que permite a los profesionales operar de una manera simple y directa.

El sistema de control PID consta de tres coeficientes básicos: proporcional, integral y derivado que se varían para obtener una respuesta óptima. (Arteaga & Tobar, 2014)

### Figura 11

*Esquema básico de un control PID*



*Nota:* Se determina el esquema básico de un control PID. Tomado de (Arteaga & Tobar, 2014)

**Control Proporcional:** Establece la oscilación natural de la variable controlada, ya que se descarta el grado de inestabilidad ingresados por la acción integral y derivativa. Se establece como el producto entre la señal de error y la constante proporcional para conseguir que el error en estado estacionario se aproxime a cero. (Arteaga & Tobar, 2014)

**Control Integral:** Disminuye y elimina el error en estado estacionario, suministra una corrección o reajuste para compensar las variaciones de carga y mantener la variable controlada sobre el punto establecido. (Arteaga & Tobar, 2014)



**Control Derivativa:** Se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error. Se antepone al efecto de la acción proporcional con el fin de estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier cambio en el proceso.

(Arteaga & Tobar, 2014)

### 2.1.15 Comunicación serie Maestro/Esclavo

El Maestro monitorea y controla a un esclavo.

Un maestro puede hacer 2 tipos de cuestionamientos a un esclavo.

1. Enviar datos a un esclavo y esperar su confirmación.
2. Pedir datos a un esclavo y esperar su respuesta con datos.

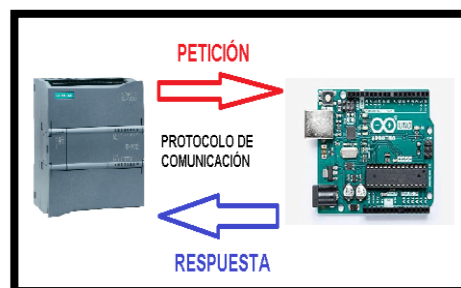
Los requerimientos de lectura y escritura que envía el maestro llevan asociados un código de función que el esclavo debe ejecutar. El esclavo interpreta los datos recibidos del maestro y definirá que datos debe resolver. (Orozco, 2015)

Los maestros son los delegados de mantener y garantizar el correcto funcionamiento de las comunicaciones.

Los esclavos son elementos del tipo actuadores y sensores

### Figura 12

*Comunicación serie Maestro-Esclavo*



*Nota:* La imagen representa la comunicación mediante un protocolo de comunicación entre el PLC y el módulo Arduino, donde existe una petición y por ende una respuesta.

### 2.1.16 Control PWM

La modulación de ancho de pulso o PWM es la variación de una señal cuadrada respecto a su periodo. Modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica. Por lo general se mide en porcentaje (%). Si el ciclo de trabajo es del 25% se pasa el 25% de su período arriba y el 75% abajo. (Novotny & Brod, 2015)

$$D = \frac{P_i}{T} * 100\%$$

#### Ecuación 1

*Ciclo de trabajo Control PWM*

*Nota: Tomado de (Novotny & Brod, 2015)*

Donde:

D= ciclo de trabajo

P<sub>i</sub>= Tiempo en que la señal es positiva

T= período.

### 2.1.17 Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos que tienen la capacidad de detectar la variación de una magnitud física tales como: temperatura, iluminación movimiento y presión; y de convertir el valor de ésta en una señal eléctrica, ya sea analógica o digital. Es un elemento idóneo para tomar, percibir o sensar una señal física proveniente del exterior y convertirla en una señal de entorno transducible. (Ulloa & Rodríguez, 2012)

**Sensor de temperatura.** El sensor de temperatura es un dispositivo que permite conocer el valor de temperatura presente en un ambiente, a través de la conversión de

los cambios de temperatura a señales eléctricas, esta información es procesada por el controlador lógico programable

**Sensor de Nivel.** El sensor de nivel es un instrumento que trabaja con un interruptor de contacto y un flotador magnético. El movimiento del flotador abre o cierra el contacto eléctrico.

### **2.1.18 Actuadores**

Los actuadores son elementos de potencia que deben tener la energía suficiente para vencer a las variables físicas que se están controlando, y de esta manera poder manipularlas.

Son dispositivos que, siguiendo las órdenes del sistema de control, realizan acciones que implican en el mundo real.(Ulloa & Rodríguez, 2012)

**Electroválvula.** La electroválvula es un dispositivo que responden a pulsos eléctricos. La corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de fluidos.

A la circular corriente por el solenoide se genera un campo magnético que atrae en núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.

Las electroválvulas son más fáciles de controlar mediante programas de software.

**Figura 13**

*Electroválvula*



*Nota:* La imagen muestra a la electroválvula que responde a impulsos eléctricos.

Tomado de (Ulloa & Rodríguez, 2012)

**Compresor.** Un compresor es una máquina térmica diseñada para el aumento de la presión de cierto tipo de fluidos. La compresión se realiza mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido.

**Figura 14**

*Compresor*



*Nota:* Es una imagen referencial de un compresor silencioso Marca DongSong.

**Resistencia eléctrica calefactora.** La resistencia calentadora convierte energía eléctrica en calor, estas se construyen con diferentes materiales.

Resistencias blindadas de acero inoxidable son las indicadas para la inmersión, tienen un tapón de rosca para un mejor acoplamiento. Resisten la corrosión y el desgaste (Ulloa & Rodríguez, 2012)

### **Figura 15**

*Resistencia eléctrica calefactora*



*Nota:* La imagen muestra una resistencia eléctrica calefactora de acero inoxidable.

## **2.2 Fundamentación Legal**

### **2.2.2 Normas y reglamentos**

#### **Norma ASTM-B117**

La Norma ASTM B-117 identifica el proceso y las condiciones requeridas para crear y sostener correctamente un ambiente de niebla salina, los parámetros de construcción establecidos por la norma se exponen a continuación:

- El equipo suficiente para la exposición de las probetas a la niebla salina se debe a una cámara sellada en la que este la niebla generada por la solución y el suministro continuo de aire comprimido correctamente acondicionado, uno o varios

atomizadores de la mezcla aire-solución, elementos calefactores y controladores específicos para controlar la temperatura.

- Es importante que el condensado de la niebla creada en el techo de la cámara no caiga sobre las muestras de prueba.
- El líquido condensado no se recirculará al recipiente que contiene la solución de NaCl para ser rociada nuevamente.
- El material utilizado en la construcción del equipo será resistente a la solución corrosiva con la que se trabajará.
- Los especímenes de prueba serán apoyados o suspendidos entre 15° y 30° de la vertical y de preferencia paralelas al flujo principal de la niebla salina.
- Los especímenes estarán ubicados de tal manera, que no haya contacto entre uno y otro, ni con ninguna superficie metálica.
- Debe existir circulación libre de la niebla salina entre todos los especímenes de prueba.
- No debe existir goteo de la solución de NaCl condensada de un espécimen a otro.
- El aire comprimido que generará la niebla debe estar libre de impurezas y aceite y debe estar mantenido entre 10 y 25 psi (69 KPa/m y 172 KPa/m).
- La temperatura dentro de la cámara de exposición será constante en 35°C +1.1/-1.7.
- La temperatura de la cámara debe ser medida sin necesidad de abrirla.
- Se deberá usar al menos 2 colectores de niebla limpia dentro de la cámara de exposición para que no caigan gotas de los especímenes o de otro lugar, los cuales deben ser ubicados cerca de los especímenes de prueba y otro más alejado. La niebla debe ser suficiente para que haya 1 a 2 ml de solución por hora por cada 80  $cm^2$  de área de recolección horizontal, en un promedio de funcionamiento del equipo de 16 horas.

- La concentración de la solución de NaCl será  $5 \pm 1$  % en peso y la solución colectada tendrá un pH de 6,5 a 7, 2.
- El o los atomizadores deberán ser ubicados para que las finas gotas de niebla no impregnen directamente a los especímenes.
- La cámara de exposición de estar completamente sellada durante las pruebas para que no hay afectación de otros equipos y muebles a causa de la niebla salina.
- Deben existir filtros adecuados en las líneas de suministro de solución para que no haya obstrucciones.
- El aire comprimido necesario para generar la niebla salina debe ser continuo en toda la prueba, con excepción de las interrupciones cortas para inspecciones, reajustes, etc.(SCHMIEDL & AUDELO, 2017)

### **2.2.3 *Sistemas de Variables***

#### **Variable dependiente**

Monitorear el sistema de control de las principales variables que intervendrán en el ensayo de corrosión

#### **Variable independiente**

Diseño y construcción de la cámara de niebla salina didáctica

### **2.3 Hipótesis**

Con la construcción de la cámara didáctica de niebla salina bajo la norma ASTM-B117, se permitirá realizar ensayos de corrosión acelerada en los metales y sus aleaciones y recubrimientos metálicos.

### 2.3.2 Operacionalización de las variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variable independiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional		Técnicas
		Dimensiones	Validación	
Diseño y construcción de la cámara de niebla salina didáctica	La implementación de la cámara de niebla salina consiste en realizar ensayos de corrosión a los revestimientos de los metales.	Implementación de la cámara de niebla salina didáctica	100%	Dimensiona_ miento
		Validación de la implementación de la cámara	100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayos</li> <li>• Tabla de datos</li> </ul>
		Realización de ensayos de corrosión	100%	

**Tabla 2**

*Operacionalización de variable dependiente*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional		Técnicas
		Dimensiones	Indicadores	
Monitorear el sistema de control de las principales variables que intervendrán en el ensayo de corrosión.	El sistema de control de las principales variables permite establecer los valores de temperatura, nivel y presión según la Norma ASTM-B117 para la realización de los ensayos de corrosión.	Señal emitida por los sensores. Monitoreo y control	Rango de operación y HMI	Dimensio_ namiento Progra_ mación



## Capítulo III

### 3. Metodología

El siguiente trabajo pretende realizar ensayos de corrosión de forma acelerada, está diseñado en base a los parámetros establecidos en la norma ASTM-B117. En donde una solución salina se atomiza con aire comprimido limpio en una neblina fina. La solución salina se dispersa con un sistema de alimentación desde un tanque de almacenamiento hasta un reservorio auxiliar, el mismo que posee un control de nivel. Usualmente la cámara se calienta a 35°C empleando una resistencia eléctrica y se mantiene a esta temperatura durante todo el ensayo manteniéndose dentro de un rango de máximo  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  la temperatura de referencia. La temperatura de la cámara y el control de nivel del tanque de almacenamiento son controlados y monitoreados por el usuario mediante un Controlador lógico programable, y para la visualización de datos se emplea un sistema Pc-System HMI.

#### 3.1 Modalidad de investigación

Las modalidades de investigación aplicadas en el siguiente trabajo son: bibliográficas y de campo, en donde se presenta la solución para la realización de ensayos de corrosión de los metales, que serán utilizados por los estudiantes en el laboratorio de Catálisis y corrosión.

##### 3.1.1 *De campo*

Con este método de investigación, se logra determinar la problemática que existe. Esta investigación se realiza en la ciudad de Latacunga en el laboratorio de catálisis y corrosión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

### **3.1.2 Bibliográfica**

La investigación bibliográfica inicia con la adquisición y revisión de información tomada de artículos científicos, catálogos, informes de ensayos realizados, Norma ASTM-B117; adquiriendo conocimiento teórico muy importante y significativo para el desarrollo y elaboración de la cámara de niebla salina didáctica que permita realizar ensayos de corrosión.

## **3.2 Tipos de investigación**

### **3.2.1 Diseño de la investigación.**

Este trabajo de investigación procura mostrar las variables de temperatura, control de nivel para realizar los ensayos de corrosión, observando el comportamiento de dichas variables en todo el tiempo que dura el proceso.

### **3.2.2 Método de hallazgo: Inductivo**

Mediante el método inductivo se consigue una base teórica y práctica, con cuyos efectos se podrá tener conocimiento sobre equipos utilizados en proyectos relacionados en la realización de los ensayos de corrosión, lo cual es necesario para implementar este proyecto en el laboratorio de Catálisis y corrosión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

### **3.2.3 Método de contrastación: Experimental**

Esta investigación se maneja en la selección de equipos y materiales, con la iniciación de un análisis de los diferentes equipos con sus respectivas características técnicas que hay en el mercado, que ayudarán al entendimiento y correcta aplicación de los mismos.

### **3.3 Niveles de la investigación**

#### **3.3.1 *Explorativa***

En el nivel de investigación explorativa se establece las necesidades que se presentan en el Laboratorio de Catálisis y Corrosión de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, y se observa la importancia de la implementación de la cámara de niebla salina didáctica para obtener una orientación más amplia del comportamiento ante la presencia de corrosión de distintos materiales y recubrimientos.

#### **3.3.2 *Descriptiva***

Se plantea la hipótesis, se manifiesta la necesidad de ampliar el conocimiento con respecto a los diferentes materiales que presentan mayor y mejor resistencia a diferentes ambientes corrosivos, todo esto obtenido mediante de la experimentación.

#### **3.3.3 *Investigación explicativa***

En la investigación explicativa es importante para detallar la descripción del proyecto y se muestra las diferentes causas que se establecen para el análisis y estudio, en la cual se requiere la explicación del objeto del proyecto, con el fin de responder a las preguntas. ¿Qué necesidad tiene el laboratorio de catálisis y corrosión?, ¿cómo solucionar los requerimientos existentes?, en donde se evidencia que existe la necesidad de realizar ensayos de corrosión para determinar el comportamiento de diferentes metales.

### **3.4 Técnicas de recolección de datos**

#### **3.4.1 Observación del laboratorio**

Es necesario aplicar la técnica de observación para obtener información de cómo satisfacer la necesidad del laboratorio de Catálisis y Corrosión en realizar ensayos de corrosión. Y a la vez tomar en cuenta los parámetros establecidos en la Norma ASTM B117, lo cual facilita la selección adecuada de equipos y materiales para la implementación del proyecto.

#### **3.4.2 Instrumentos de medición**

Los datos que se requieren para el análisis de los ensayos de corrosión son proporcionados por medio de sensores industriales. Por medio de la medición de variables físicas como temperatura, presión y nivel se obtiene información, los mismo que cumplen con un protocolo de comunicación, que proporciona la interacción de dicha información obtenida y el PLC, el mismo que recibe los datos para someterse a la lógica de programación diseñada de acuerdo a las necesidades. Luego, son enlazados con el HMI-Pc System, donde se puede visualizar y tener datos reales de lo que sucede en ese instante.

#### **3.4.3 Técnicas de análisis de datos**

Para la técnica de análisis de datos se establece la periodicidad o el intervalo de tiempo y se realiza una variación a los parámetros físicos.

Con los datos obtenidos se procede a realizar el análisis de los datos obtenidos haciendo referencia a los siguientes criterios:

- Grado de corrosión del metal.

- Grado de degradamiento de un recubrimiento protector no metálico.
- Peso perdido de un material metálico a causa de la corrosión.
- Cambio de conductividad eléctrica del metal.

#### ***3.4.4 Técnicas de comprobación de hipótesis.***

Luego de establecer los parámetros físicos de la cámara, se inicia el ensayo, con controles correspondientes cada cierto tiempo. Los datos obtenidos de los diferentes ensayos de corrosión son monitoreados en tiempo real cuando se encuentran en funcionamiento.

## **Capítulo IV**

### **4. Resultados de la investigación**

En este capítulo se determina los resultados alcanzados del análisis que se obtuvo mediante la observación en el laboratorio de Catálisis y Corrosión, del cual surge la necesidad de realizar el diseño y construcción de una cámara de niebla salina, para así aportar al desarrollo de los conocimientos teóricos y prácticos de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

#### **4.1 Análisis de los resultados.**

El análisis de la necesidad de implementar una cámara de niebla salina, se da con el fin de facilitar la experimentación y obtener un enfoque más amplio del comportamiento de la corrosión de distintos materiales y recubrimientos, basadas generalmente en la Norma ASTM B-117, en la que se define los componentes, procedimientos y condiciones requeridos para la construcción de la cámara de niebla salina para una correcta realización del ensayo.

El desarrollo del proyecto de investigación se basa en el uso de probetas o muestras de metales con diferentes recubrimientos para el desarrollo de los ensayos, por lo que se considera un equipo adecuado para los estudiantes, el cual consta con una interfaz amigable y se visualiza en tiempo real el comportamiento de las variables físicas y el estado de la corrosión en un tiempo determinado.

## 4.2 Cámara de niebla salina.

### 4.2.1 Enfoques y análisis de la cámara de niebla salina.

La cámara de niebla salina didáctica con un sistema de control multifuncional cumple con la necesidad que requiere el proyecto de investigación, ya que satisface la necesidad que tiene el estudiante y el laboratorio de Catálisis y Corrosión, el cual no cuenta con una cámara de niebla salina para realizar ensayos de corrosión

**Tabla 3**

*Parámetros Cámara de Niebla Salina*

<b>Parámetros del módulo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Selección y características</b>
Diseño y selección de componentes y dispositivos	Para esto es necesario tener en cuenta en donde se ubicará, el ambiente de trabajo y cómo se utilizará la cámara.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para la selección de los componentes y dispositivos se debe tener en cuenta los datos técnicos de ellos.</li> <li>- Compresor suministra el aire comprimido para la generación de la niebla</li> <li>- Resistencia eléctrica de 1500 Watts calienta la cámara de exposición a la temperatura establecida por la Norma ASTM B-117.</li> <li>- Sensor de temperatura monitorea la temperatura dentro de la cámara.</li> <li>- Electroválvula controla el paso de aire comprimido y es accionada por medio de acciones eléctricas.</li> <li>- Boya de nivel industrial monitorea el nivel de solución salina en el tanque principal.</li> </ul>
Adquisición de datos y visualización	Proceso para la adquisición y análisis de los datos de las variables físicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los datos de las variables físicas serán captados por sensores industriales.</li> <li>- El equipo para la visualización de los datos es una Pc.</li> </ul>

## Capítulo V

### 5. PROPUESTA

#### 5.1 Tema de la propuesta

Diseño y construcción de una cámara de niebla salina didáctica mediante la norma ASTM B-117 con un sistema de control multifuncional para ensayos de corrosión en el Laboratorio de Catálisis y Corrosión de Petroquímica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga.

#### 5.2 Datos informativos

**Nombre de la empresa:** Universidad de las Fuerzas Armada ESPE Extensión Latacunga.

**Dirección:** Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara, Laboratorio de Catálisis y Corrosión.

**Beneficiarios:** Estudiantes pertenecientes a las carreras técnicas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga que hagan uso de las instalaciones del laboratorio de Catálisis y Corrosión.

#### 5.3 Objetivos

##### 5.3.1 *Objetivo General*

- Diseñar y construir una cámara de niebla salina didáctica aplicando la Norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión en el laboratorio de Catálisis y Corrosión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, con un sistema de control multifuncional.



### **5.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar y construir la estructura mecánica para la ubicación del sistema electrónico, eléctrico y de generación, suministro de niebla salina y aire de atomización.
- Dimensionar, seleccionar, diseñar el sistema de control de las principales variables que intervendrán en el proceso.
- Diseñar e implementar el circuito eléctrico entre los diferentes equipos y componentes de la cámara de niebla salina.
- Desarrollar e implementar un protocolo de comunicación y lógica de programación entre los sensores industriales y el PLC.
- Vincular la interacción de información obtenida con el HMI-Pc System, donde se puede visualizar y tener datos reales de lo que sucede en ese instante.
- Implementar un ensayo de corrosión en la cámara de niebla salina para verificar el correcto funcionamiento del equipo, según la Norma ASTM-B117
- Elaborar un manual de operaciones que detalle los procedimientos, advertencias y mantenimiento para el correcto uso de la cámara de niebla salina.

### **5.4 Justificación de la Propuesta**

Al implementar la cámara de niebla salina didáctica en el Laboratorio de Catálisis y Corrosión, se pretende visualizar el comportamiento de los metales que son sometidos a los ensayos de corrosión; cómo es el grado de corrosión del metal, el grado de degradamiento de un recubrimiento protector no metálico, el peso perdido de un material metálico. Con el cual se pretende analizar el efecto y el impacto de la solución salina al momento de tener contacto con el metal.

## 5.5 Fundamentación de la propuesta

A continuación, se detallará la implementación de la cámara de niebla salina didáctica que consta de:

**Tabla 4**

*Partes de la cámara de niebla salina*

<b>MÓDULO/SISTEMA</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Soporte del equipo</b>	Sirve para dar estabilidad y seguridad a todo el equipo y sus componentes
<b>Cuerpo de la cámara de exposición de la niebla salina</b>	Se exponen las muestras que estarán sometidas a la niebla salina.
<b>Tapa de la cámara</b>	Diseñada con la especificación por la norma ASTM-B117, para prevenir que las gotas condensadas no caigan sobre las muestras.
<b>Tanque principal de la solución</b>	La capacidad del tanque es mayor para mantener preparada la solución corrosiva y lo suficiente para la realización de toda la prueba.
<b>Tanque auxiliar de la solución</b>	Este tanque se encuentra al interior de la cámara de exposición, el mismo que abastece de manera continua la solución para la generación de la niebla salina.
<b>Sistema de calefacción de la cámara</b>	Este sistema brindará a la cámara la temperatura requerida para la realización de la prueba, y también mantenerla en la misma.
<b>Sistema de Generación de la niebla.</b>	Se realiza la correcta pulverización de la solución para convertirla en niebla.
<b>Sistema de suministro de aire</b>	Se suministra aire a una determinada presión para formar la niebla salina.
<b>Cubierta externa de la cámara</b>	La cubierta se encarga de la protección de la cámara y evita que exista fugas de niebla.

MÓDULO/SISTEMA	FUNCIÓN
<b>Sistema eléctrico y automatización</b>	Se establece los parámetros de automatización de los componentes para obtener un control fiable.
<b>Probeta de muestras de prueba</b>	Este soporte es el encargado de mantener a un ángulo establecido a las muestras de prueba para la correcta exposición.
<b>Desagüe</b>	El drenaje ayuda a la eliminación de la solución ya condensada y también evita que la presión del aire que ingresa a la cámara se acumule.

## 5.6 Diseño de la propuesta.

### 5.6.1 Resumen

A continuación, se detalla el procedimiento para la implementación de la cámara de niebla salina didáctica, la cual será útil para la realización de ensayos de corrosión.

**Soporte del equipo.** Para seleccionar el material para realizar el soporte del equipo, se toma en cuenta el peso y la temperatura al que estará expuesto, el mismo que brindará seguridad a la cámara y a todos los componentes.

La estructura fue construida con tubo estructural negro cuadrado de 1", cuenta con 4 puntos de apoyo para evitar que ceda con el peso total de la cámara y de los demás componentes.

Las medidas del soporte son 1100 X 890 X 1000 mm.

Para más detalle revisar Anexo D-07

### Tabla 5

*Propiedades mecánicas Tubo negro estructural*

CARACTERÍSTICAS	VALORES MÍNIMOS
Esfuerzo de Fluencia	176 MPa

CARACTERÍSTICAS	VALORES MÍNIMOS
Esfuerzo de tensión	268 MPa
Porcentaje de elongación	21%

*Nota:* Se detalla las características de las propiedades mecánicas del tubo estructural negro. Tomado de (ACESCO, 2020)

### Figura 16

*Soporte del equipo*



**Cuerpo de la cámara de exposición.** La cámara de exposición está diseñada de acuerdo al uso que se dará y de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma ASTM B-117; por tal razón se realizó con fibra de vidrio, Catalizador MECK peróxido y Resina cobaltada, con un espesor de 4 mm para evitar la fuga de temperatura y presión.

### Tabla 6

*Características generales de los materiales del cuerpo de la cámara de exposición.*

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
<b>Fibra de vidrio</b>	<p><b>Resistencia química:</b> resistente a la mayoría de los ácidos.</p> <p><b>Peso ligero:</b> fácil de mover e instalar.</p> <p><b>Bajo mantenimiento:</b> no necesita ningún mantenimiento especial.</p> <p><b>Aislamiento eléctrico:</b> no conduce la electricidad.</p>

---

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

---

**Hidrorepelente:** no es afectado por el contacto con el agua.

**Resistencia térmica:** resistente al calor extremo, disipa el calor y puede resistir temperaturas de hasta 1648°C durante algo más de un minuto.

**Catalizador MECK Peróxido** Aspecto: Líquido, incoloro

**Resina Cobaltada** Buena estabilidad contra la oxidación atmosférica.  
Agente acelerante en el curado de las resinas de poliéster catalizadas con peróxido de MEK en frío.

---

*Nota:* Se detalla las diferentes características generales de la Fibra de Vidrio, Catalizador MECK y Resina cobaltada que fueron utilizados en la construcción de la cámara de exposición. Tomado de (Diansa, 2019) & (MOTOREX, 2021)

Las medidas del cuerpo de la cámara son de 761mm X 561mm X 634mm (largo x ancho x alto).

El molde de la cámara de la exposición fue realizado en cartón prensado, ya que presenta alta durabilidad y resistencia.

#### **Figura 17**

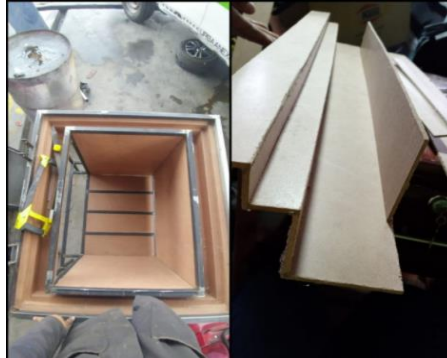
*Medición del cartón prensado para el molde de la cámara*



*Nota:* Se muestra la medición y corte de los pedazos de cartón prensado para realizar el molde para la cámara de exposición

**Figura 18**

*Montaje del molde de la cámara de exposición*



*Nota:* Se muestra el armado y montaje del molde de la cámara de exposición

Una vez realizado el montaje del molde la cámara de exposición con el cartón prensado, se adhiere aceite y cera para que el desmontaje sea más fácil y así evitar que el cartón se pegue a la fibra de vidrio seca.

A continuación, se procede a la colocación de la fibra de vidrio en combinación con  $5mm^3$  de catalizador MECK Peróxido en 2 litros de resina cobaltada, la misma que se secará en aproximadamente 30 minutos.

**Figura 19**

*Armado de cámara de exposición con fibra de vidrio*



## Figura 20

### *Desmontaje molde de cartón prensado*



*Nota:* Se realiza el desmontaje del cartón prensado y el molde final de fibra de vidrio. Se utiliza un cincel y un martillo.

**Tapa de la cámara.** La tapa de la cámara de exposición tiene una forma de “V” invertida, fabricada de acrílico de 6mm de espesor.

El diseño de la tapa de la cámara se basó de acuerdo con los requerimientos de la Norma ASTM B-117, la misma que establece que la cubierta de la cámara debe formar un ángulo de abertura entre 90° y 120°, para evitar que la solución condensada en las paredes descendan directamente sobre las muestras de la prueba. Para apoyar y establecer la forma y el ángulo adecuado se construyó una base de platina de  $\frac{3}{4}$ ” x  $\frac{1}{8}$ ” y ángulos de  $\frac{1}{2}$  x  $\frac{1}{8}$ ”, con medida de 1031 mm de ancho X 831 mm de largo. El alto de cada lado es de 550 mm, donde se forma una altura de 380 mm desde la base hasta la punta de la tapa de la cámara. Para más detalle revisar Anexo D-10

**Tabla 7***Propiedades físicas y químicas del acrílico*

<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ACRÍLICO</b>	
	Transmisión de la luz del 92-95% (transparencia que es superior a la del vidrio)
	Bajo peso (densidad 1,2 g/cm <sup>3</sup> )
	Extraordinaria resistencia al medio ambiente, excelente resistencia a la degradación por rayos ultravioleta.
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	No se opaca con el tiempo
	Larga vida útil
	Máxima temperatura recomendada 65 a 90°C
	Baja resistencia a la abrasión
	Fácil limpieza.
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>	Resiste la mayoría de productos químicos.
	No resiste hidrocarburos clorinados.

*Nota:* Se presenta las propiedades físicas y químicas del acrílico. Tomado de (ACRILUX, 2018)

**Figura 21***Estructura tapa de la cámara*

**Tanque principal de solución.** El tanque principal de solución es el que alimenta el proceso de generación de niebla salina, ya que provee de solución salina al tanque auxiliar de la cámara de exposición por medio de la gravedad.

Las medidas del tanque son 950 mm de altura y 470 mm de diámetro.



**Figura 22***Tanque principal de solución*

Está constituido por un marco estructural de tubo negro cuadrado de acero de 2", cuyas dimensiones son 1500mm x 550mm x 550mm, el mismo que soportará un tanque de plástico (polietileno de alta densidad PEAD) de color blanco, con una capacidad de 150 litros.

**Figura 23***Marco estructural tanque principal de solución*

La estructura del tanque principal de solución cuenta con 2 niveles de elevación, para que el usuario pueda abastecer de la solución salina al tanque principal, ya que, por medio del efecto de la gravedad, el tanque principal suministra de solución salina al tanque auxiliar que se encuentra dentro de la cámara de exposición.

Los niveles tienen una medida de 550mm x 360mm. Para más detalle revisar Anexo D-04

### **Figura 24**

*Estructura tanque principal de solución*



El tanque principal está conectado al tanque auxiliar de la cámara de exposición por medio de una manguera transparente flexible, donde se encuentra las válvulas de bola para apertura y cierre de forma manual, la llave para vaciar la solución del tanque y el filtro estándar FES-01, cuyas características de detalla en el Anexo A-09.

El material de todos estos componentes es policloruro de vinilo PVC, ya que es un material ligero, resistente, impermeable y aislante, lo que nos garantiza que no habrá fugas de solución, ni presencia de agentes corrosivos.

**Figura 25**

*Conexión y componentes de tanque principal al tanque auxiliar*



**Tanque auxiliar de solución.** Este tanque auxiliar se encuentra ubicado en el interior de la cámara de exposición. Está construido al 100% PP con dimensiones de 345mm x 380mm y un peso de 870g  $\pm$  3%

La sigla PP significa polipropileno, el mismo que es un polímero termoplástico. Tiene alta resistencia y una temperatura de fusión de 173°C; ya que al interior de la cámara de exposición soportará cierta subida de temperatura y estará en constante contacto con la solución salina.

**Figura 26**

*Tanque auxiliar de solución*



El llenado del tanque auxiliar de solución es por medio de una válvula mecánica de llenado marca Fluid Master Modelo 747, que hace que el tanque auxiliar se llene con la solución salina a través de una válvula de llenado, y una vez que el nivel haya descendido nuevamente funcionará la válvula de llenado hasta llenar el tanque al nivel de líquido establecido.

### Tabla 8

*Características Válvula de llenado FLUIDMASTER 747*

<b>Válvula de llenado 747 Fluid Master</b>	
<b>Características</b>	<b>Datos técnicos</b>
Silenciosa en su funcionamiento	Presión de operación: 2.6-232 PSI
Tamaño compacto	Flotador con rango de ajuste: 114.3mm
Única válvula de limpieza, manejo de mecanismos para grifo de baja y alta presión	Huella operativa: 86.87mm x 55.9mm

*Nota:* Se detalla las características y datos técnicos de la válvula de llenado. Tomado de (FluidMaster, 2020)

### Figura 27

*Válvula de llenado mecánico*



En la tubería principal del tanque auxiliar de solución se encuentra la válvula de bola para apertura y cierre de forma manual, la misma que cumple la función de vaciar el tanque auxiliar del sobrante de solución salina, al momento de terminar el ensayo de corrosión.

**Sistema de calefacción de la cámara.** La Norma ASTM B-117 establece que la cámara debe mantenerse a cierta temperatura para realizar de forma efectiva el ensayo de corrosión en las muestras. La cámara debe estar a una temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Para calentar la cámara y dejarla en la temperatura adecuada y establecida por la Norma, se aplica una resistencia eléctrica tubular de acero inoxidable para no ser dañado en el ensayo y mide 600mm x 380mm de longitud y con un diámetro de 10mm. Esta resistencia cuenta con una potencia de 1500 Watts y 110 Voltios.

### **Figura 28**

*Resistencia eléctrica calefactora*



Su control es de manera automatizada, ya que se enviará una señal de apagado inmediato una vez que la temperatura sobrepase el requerimiento establecido, y se la resistencia será activada una vez que el requerimiento de temperatura haya descendido demasiado.

**Sistema de generación de niebla.** La generación de la niebla debe ser lo más uniforme posible para que las probetas estén en las mismas condiciones a lo largo del ensayo, por esta razón se necesita un sistema que mezcle aire-agua, para esto se ha seleccionado una válvula atomizadora conectada a una unión Tee que sirve para acoplar la entrada de aire y la entrada de la solución y la otra salida hacia la válvula, la misma que funciona para esparcir la solución salina a presión.

### Figura 29

*Válvula atomizadora*



Se encuentra apoyada en un soporte dentro del tubo de aspersion, que está en el interior de la cámara de exposición.

### Figura 30

*Conexión de entrada AIRE-SOLUCIÓN*



El tubo de aspersión es de PVC (policloruro de vinilo no plastificado) con 3" de diámetro y 600 mm de largo, instalado verticalmente en la parte superior del tanque auxiliar de solución, adicionalmente se diseñó un cono difusor de 50 cm de altura, el cual es sujetado en la parte superior del tubo de aspersión. Cumple la función de desviar la niebla producida por la boquilla atomizadora y evitar que haga contacto directo sobre las muestras.

El cono difusor es fabricado en fibra de carbono, por ser un material con elevada resistencia mecánica, baja densidad y gran capacidad de aislamiento térmico. Para más detalle revisar Anexo D-05

### **Figura 31**

*Cono difusor*



**Sistema de suministro de aire.** El suministro del aire comprimido es indispensable para la generación de la niebla. Se eligió un compresor silencioso marca DONGSONG de  $\frac{3}{4}$  HP, 550 Watts, con un tanque de 15 litros y una presión máxima de 180 psi.

**Figura 32**

*Compresor Marca DONGSONG*



Este sistema está constituido por un marco estructural de tubo cuadrado de 1.5", cuyas medidas son: 700 mm x 600 mm x 1000 mm. Para más detalle revisar Anexo D-03

**Figura 33**

*Marco estructural Compresor DongSong*



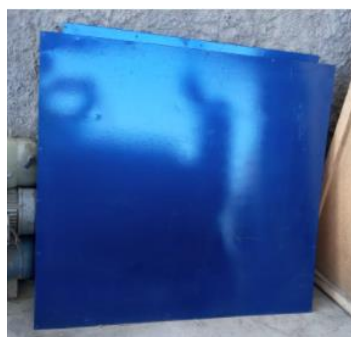


**Cubierta externa de la cámara.** La cubierta externa funciona como protección a la cámara de exposición, es tan importante porque es la clave en la correcta circulación del aire caliente alrededor de la cámara y procurar llegar a la temperatura solicitada, sin que exista ningún tipo de fuga calórica hacia el exterior.

Su fabricación fue hecha con plancha galvanizada 1.40 (1/16) ya que ofrece alta resistencia a la corrosión, es maleable y tiene extensa duración. Sus medidas son 101cm x 95cm.

### Figura 34

*Plancha galvanizada para la cubierta externa*



Fue forrada su parte interna con lana de vidrio, que es un material aislante térmico y contribuye a mantener el calor en el interior de la cámara y evitar que la plancha galvanizada se caliente.

### Tabla 9

*Propiedades de Lana de Vidrio*

<b>Propiedades de la Lana de Vidrio</b>	Producto 100% Reciclable, no contamina
	Incombustible, no es inflamable
	Mantiene climatizados los espacios por un mayor período de tiempo.
	Es más liviana y de baja conductividad térmica.
	Es hidrórepelente

*Nota:* Se detalla las propiedades de la lana de vidrio. Tomado de (AFELMA, 2020)

**Figura 35**

*Plancha galvanizada recubierta de lana de vidrio*



**Sistema eléctrico y automatización.** La automatización de la cámara de niebla salina es importante para tener un control en la temperatura dentro de la cámara y mantenerla en el requerimiento establecido. Este sistema cuenta con un sensor de temperatura PT100 que está ubicado en la parte interior derecha de la cámara, es un detector de temperatura por resistencia RTD.

El sensor de temperatura es el encargado de enviar señales eléctricas para que si llega a la temperatura se apague la resistencia, y de la misma manera si llega a descender por debajo del requerimiento establecido se vuelve a accionar, con esto se logra mantener el interior de la cámara en un ambiente óptimo y adecuado para la realización del ensayo.

El rango de medición es de 0°C a 400°C

**Figura 36**

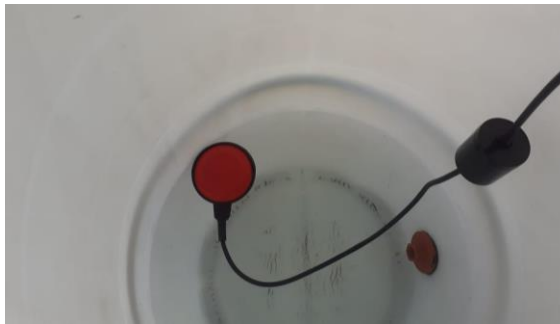
*Sensor de temperatura PT100*



Por otro lado, se necesita controlar y monitorear el nivel de la solución en el tanque principal, ya que, al no existir la cantidad de solución adecuada, la generación de niebla generará un problema. Por esta razón se implementó un sensor de nivel tipo boya para que al momento de llegar a cierto nivel de solución se detendrá el sistema y se visualiza un titileo de la luz roja en el tablero de control.

### Figura 37

*Sensor de nivel tipo boya*



Cuenta también con una electroválvula que realiza apertura y cierre de la presión de aire que suministra el compresor. La electroválvula se acciona cuando se cumple la condición de los 35° C de temperatura y se desactiva cuando las horas de ensayo finalizan.

### Figura 38

*Electroválvula*

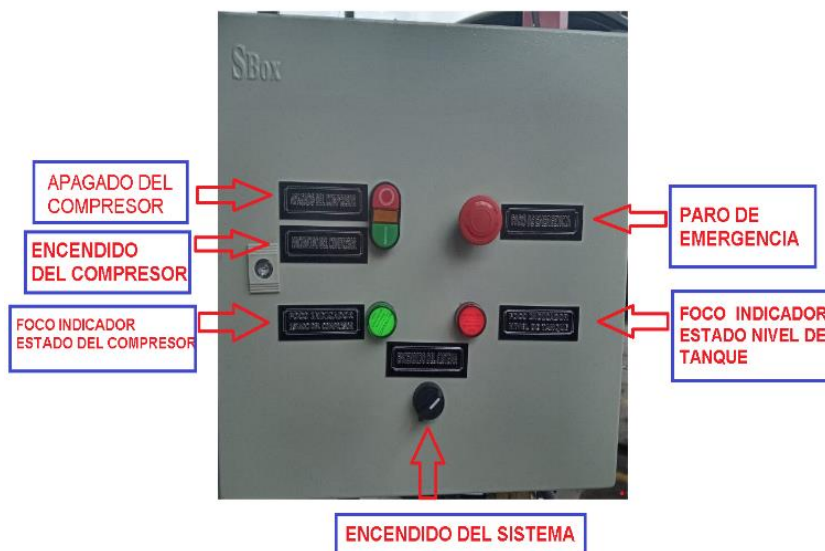


El sistema cuenta con distintos procesos, y, por lo tanto, está programado para que primero se encienda el compresor hasta que se cargue la presión necesaria, posteriormente se activa la resistencia eléctrica calefactora hasta que el interior de la cámara de exposición tenga el valor de temperatura establecido por la Norma, una vez realizado esto, se procede al encendido de la electroválvula que permite el paso del aire comprimido del compresor para la generación de la niebla.

El sistema eléctrico y de automatización se encuentra instalado en un gabinete de 40x40 cm que se sitúa en el marco estructural del compresor. Se dispone de un selector de 2 posiciones, el mismo que sirve para el encendido y apagado de todo el sistema, el foco rojo que alerta sobre el estado del nivel del tanque principal, el foco verde que alerta sobre el encendido del compresor, el botón DSPT de Encendido/Apagado para encender y apagar el compresor y el botón de Paro de emergencia para detener el sistema en caso de que exista algún contratiempo.

### Figura 39

*Esquema panel de control*



**Soporte de muestras de prueba.** La Norma ASTM B-117 establece que los especímenes de prueba deben estar colocados a un ángulo de 15-30°, por lo tanto, el diseño del soporte está adecuado para la forma y tamaño de los mismos.

Para realizar este diseño se toma en cuenta el tamaño lateral de la cámara de exposición que es 53 cm.

El material seleccionado para la construcción del soporte es el mismo de la tapa de la cámara, ya que presenta una gran resistencia a la mayoría de los productos químicos.

Cada sección del soporte tiene una separación de 20 mm y su apoyo es de 50 mm.

Para más detalle revisar Anexo D-08

#### **Figura 40**

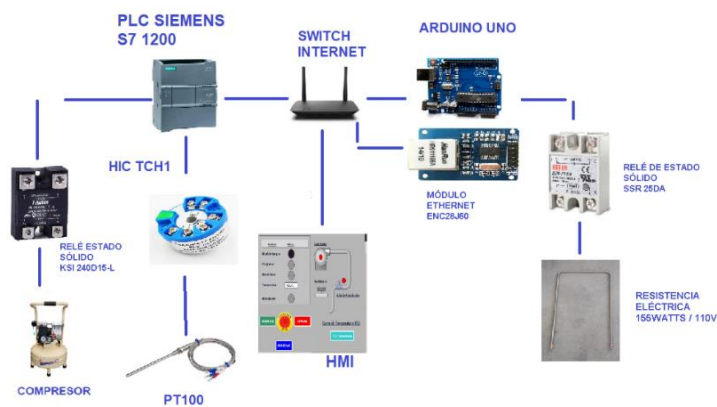
*Soporte de muestra*



**Desagüe.** Está situado en la base de la cámara de exposición y en los canales laterales superiores de la cámara de exposición, con un diámetro de 5cm. El objetivo de la ubicación de este orificio es para que funcione como desagüe de la solución que se condensa conforme pasa el tiempo de prueba, y a la vez funcione como ducto de escape del aire comprimido para evitar la acumulación de presión dentro de la cámara de exposición.

**Figura 41***Desagüe***5.1.1. Arquitectura del proyecto**

La Figura 42 muestra el esquema de la cámara de niebla salina didáctica con sistema multifuncional para la realización de pruebas de corrosión, en la cual constituye los componentes con los que se va a desarrollar el módulo didáctico.

**Figura 42***Esquema de la cámara de niebla salina didáctica con sistema multifuncional*

## 5.2. Selección de componentes

Para la selección de los componentes del diseño y construcción de la cámara de niebla salina didáctica con sistema de control multifuncional, se toma en cuenta las características técnicas que dispone cada elemento a utilizar, como es la presión de aire suministrada, el voltaje con la que se trabaja, la velocidad de procesamiento del PLC y que la comunicación entre los componentes sea estable.

### 5.2.1. Selección de controlador lógico programable.

Se requiere de un controlador lógico programable que permita el control de los requerimientos del sistema. La comunicación con los elementos del sistema será mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP

**Especificación técnica del controlador lógico programable.** En la Tabla 10 se detalla las características técnicas de la opción de controlador apto para el sistema

**Tabla 10**

*Controladores industriales (PLC)*

<b>EQUIPO</b>	<b>SIEMENS S7-1200</b>
	<b>1212C AC/DC/RLY</b>
ALIMENTACIÓN	120 VAC
MEMORIA DE TRABAJO	75 KB
MEMORIA DE CARGA	1MB
MEMORIA REMANENTE	10 KB
ENTRADAS DIGITALES	8
SALIDAS DIGITALES	6

<b>EQUIPO</b>	<b>SIEMENS S7-1200</b>
	<b>1212C AC/DC/RLY</b>
ENTRADAS ANALÓGICAS	2
COMUNICACIÓN	Ethernet
MÓDULOS DE COMUNICACIÓN	RS 232/485 MODBUS TCP

*Nota:* Se detalla las características técnicas del PLC S7-1200 1212C AC/DC/RLY.

Tomado de (SIEMENS, 2018)

### **Justificación**

El controlador se considera un dispositivo capacitado de realizar la comunicación entre el Arduino y el módulo Ethernet ENC28J60 mediante el protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP, que tenga una versión de Firmware superior a 4.0.3, la alimentación del PLC sea por corriente alterna, que presente una considerable capacidad en sus memorias de trabajo y carga debido a que se requiere programar variables físicas captadas por medio de los sensores y un PC\_System HMI.

**Implementación del Controlador Lógico Programable PLC S7-1200.** El PLC es implementado en un gabinete de 40x40 cm, el cual estará montado sobre el marco estructural del compresor, tendrá una alimentación de 120 Voltios.

### **5.2.2 Selección de compresor.**

Para la selección del compresor, se basa en las características que se requiere para suministrar el aire comprimido, teniendo en cuenta la presión de aire que se necesita y la potencia.



**Características generales:**

- Silencio y libre de mantenimiento
- Motor con potencia de 550 Watts
- Tanque de 15 litros
- Sistema de Diafragmas libre de aceite
- Función autostop para carga automática
- Drenaje por tornillo

**Figura 43**

*Compresor DongSong silencioso*

**Justificación**

El compresor silencioso Marca DongSong es el idóneo, ya que cuenta con las características requeridas para el proyecto. Se debe tomar en cuenta que la ubicación del compresor será dentro de un laboratorio de la Universidad, y por lo tanto el ruido generado debe ser mínimo casi nulo. Para más detalle revisar Anexo A-04

### 5.2.2. Criterio de selección de ARDUINO.



Para la etapa de control se va a utilizar Arduino, por su versatilidad y por su facilidad de uso. Es una forma más proporcionada de comunicación para el control de la Resistencia eléctrica calefactora.

Para seleccionar entre los diversos Arduino existentes se valorará mediante los criterios de tamaño, número de puertos y costo del componente.

En la Tabla 11 se especifica las características técnicas de los tipos de Arduino.

**Tabla 11**

*Características técnicas ARDUINO*

EQUIPO	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA
		
<b>Procesador</b>	Atmega 328P	Atmega 2560
<b>Clock Speed</b>	16MHz	16MHz
<b>Flash memory</b>	32 Kb	256 kB
<b>EEPROM</b>	1 kB	4kB
<b>SRAM</b>	2 kB	8 kB
<b>Nivel de Voltaje</b>	5 V	5 V
<b>Pines I/O Digital</b>	14	54
<b>Pines I/O Digital con PWM</b>	6	15
<b>Pines analógicos</b>	6	16
<b>Conectividad USB</b>	Estándar A/B USB	Estándar A/B USB
<b>Compatibilidad</b>	Si	Si

<b>Ethernet/ WI-FI/ Bluetooth</b>	No (el módulo puede habilitarlo)	No (el módulo puede habilitarlo)
-----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

*Nota:* Se detalla las diferencias de características técnicas entre el Arduino UNO y el Arduino MEGA. Tomado de (Gudino, 2017)

El análisis de la programación en Arduino es importante debido a que se estará analizando la relación con el usuario y la facilidad de manejo.

### **Justificación.**

La plataforma Arduino se considera un dispositivo de enorme flexibilidad y de carácter libre y abierto. Para más detalle revisar Anexo A-02

Las ventajas más importantes son: reducir costos económicos, posee una comunicación inmediata y se le puede aplicar el control de fase y control PWM.

### **5.2.3. Criterio de selección de módulo de comunicación PLC-ARDUINO.**

Para establecer el intercambio de datos de un Arduino y un Controlador lógico programable se utiliza el protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP.

Permite el intercambio de lecturas de señales digitales, señales analógicas y otros datos.

**Enlazar PLC a una Red de Trabajo.** Se tiene que establecer la dirección IP para trabajar en una sola Red, de esta manera tener una satisfactoria conexión entre ambos dispositivos (PLC-ARDUINO).

**Módulo Ethernet ENC28J60.** Este módulo permite establecer la comunicación entre PLC y Arduino.

**Figura 44***Módulo Ethernet ENC28J60*

*Nota:* Imagen referencial de Módulo Ethernet ENC28J60. Tomado de Anexo A-03

**Tabla 12***Especificaciones técnicas Módulo Ethernet ENC28J60*


---

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**


---

Voltaje de operación: 3.3V – 5V DC

Interfaz con microcontrolador host por SPI

Interfaz Ethernet 802.3

Ancho de banda: 10Mbps Half o Full Duplex (Manual)

Soportado por el Stack TCP/IP de Microchip Technology

Conector RJ45 HR911105A con transformadores de aislamiento incorporados

Cristal de 25MHz

---

*Nota:* Se muestra las especificaciones técnicas del módulo ethernet ENC28J60. Tomado de A-03

**5.2.4. Criterio de selección Transmisor de Temperatura**

El transmisor inteligente de temperatura programable montado en la cabeza HIC TCH1 es un convertidor o transmisor de señal de termocupla o RTD a 4-20 mA. Es un módulo de acondicionamiento de señal de termopar programable por software.

### Características Principales

- Tipo de entrada de señal, el rango de temperatura es programable a través del software.
- Entrada de señal de termopar Universal RTD TC, salida de 2 cables 4-20 mA.
- Fuente de alimentación de amplio rango de 12-35V
- Admite todas las entradas de señal de termopar.
- Alto rendimiento para soportar golpes, vibraciones, interferencias externas.
- Compatible con todos los PLC, controladores de temperatura, medidores, etc.
- Rango de temperatura de funcionamiento de grado industrial: -40 a +85°C.

### Parámetros técnicos

- Entrada de señal: termopar o RTD de 2 cables, RTD de 3 cables, RTD de 4 cables.
- Salida: 2 cables de corriente de 4-20 mA.
- Límite de corriente de salida: 20.3mA
- Fuente de alimentación: 12-35 VDC, corriente de excitación de 0.2 mA.
- Precisión de medición: entrada 0.5% TC, entrada 0.2% RTD.
- Capacidad de carga: 250Ω o 500Ω

### Figura 45

*Transmisor de temperatura HIC TCH1*



**Justificación.**

El transmisor inteligente de temperatura es totalmente configurable por software en PC. Tiene alta precisión de bajo costo y es un excelente reemplazo de otros transmisores de temperatura similares. Es compatible con el PLC Siemens S7-1200. En el sensor de entrada tipo PT100 tiene un rango de temperatura de -200 °C a +800°C. Para más detalle revisar Anexo A-05

**5.2.5. Criterio de selección de Sensor de Temperatura**

Para la selección del sensor de temperatura se debe tomar en cuenta el material adecuado para la duración del sensor y del tipo de producto químico al que estará expuesto.

**Especificaciones:**

- Rango de temperatura: 0-400 °C.
- Diámetro de la rosca: 8mm
- Diámetro de la sonda: 5mm
- Blindaje externo: Escudo de metal inoxidable.
- Longitud total: 1metro.

**Figura 46**

*Sensor de temperatura tipo PT100*



*Nota:* Imagen referencial de un sensor de temperatura tipo PT100. Tomada de Anexo A-

### **Justificación**

El sensor de temperatura tipo PT100 es ampliamente utilizado para uso industrial o de laboratorio para probar la temperatura de los equipos. Tiene 3 terminales para una fácil conexión. El rango de medición de temperatura es de °C a 400 °C, el cual es apropiado ya que la temperatura a medir en el interior de la cámara será de 35° C. Para más detalle revisar Anexo A-06.

### **5.2.6. Criterio de selección de Sensor de Nivel.**

El sensor de nivel o boyas de nivel se utilizan para controlar y monitorear el nivel máximo y mínimo. Su montaje es vertical desde la parte superior de la tapa del tanque principal.

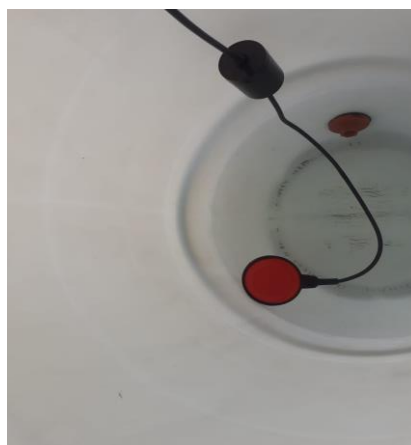
Para el tanque principal de solución de la Cámara de Niebla Salina, se seleccionó el sensor de nivel tipo Boya SKF TS EN 80730-2-18, que se observa en la Figura 47.

Su funcionamiento es mecánico, con un microswitch Honeywell de 16 Amp.

La regulación del nivel de líquido se obtiene desplazando el contra peso de 230 gr. a través del cable y fijándolo a éste, con el obstáculo provista para este fin.

### **Figura 47**

*Sensor de Nivel tipo Boya*



### **Justificación.**

El sensor de nivel tipo boya industrial Marca SKF TS EN 80730-2-18 está diseñada y fabricada en material polipropileno que garantiza hermeticidad. Es apto para uso en tanques de agua, aceites pocos densos y líquidos corrosivos y no corrosivos. Tiene 3 metros de longitud. Alimentación 120/230V. El tipo de conexión es suspendido y posee 3 cables: 1 común, 1 NA y 1 NC. Revisar Anexo A-07

### **5.2.7. Criterio de selección de Electroválvula.**

La electroválvula es un dispositivo que responde a pulsos eléctricos, la corriente que se aplica circula a través de la bobina solenoide lo que permite la apertura o el cierre de la válvula. Esta corriente genera un campo magnético que atrae a un núcleo móvil y una vez finalizada este efecto, el núcleo vuelve a su posición.

Debido al rango de presión que se requiere para la generación de la niebla (entre 10 y 25 PSI), se optó por seleccionar la electroválvula de accionamiento directo SNS 2W-025-08 que se observa en la Figura 48.

### **Figura 48**

*Electroválvula SNS 2W-025-08*





### Justificación.

La electroválvula SNS 2W-025-08 tiene una alimentación de 12 VDC. Tiene una válvula solenoide eléctrica normalmente cerrada de alta calidad para agua, aire o aceite. Posee un rango de temperatura de funcionamiento de:  $-41^{\circ}$  F a  $185^{\circ}$  F. Revisar Anexo A-08

#### 5.2.8. Criterio de selección de Relé de Estado sólido

Este relé de estado sólido se activa con 3-32 VDC y la salida soporta 25A y 24-380VAC.

### Justificación.

Los relés de estado sólido son relativamente baratos, permite control PWM de grandes corrientes sin sufrir calentamiento.

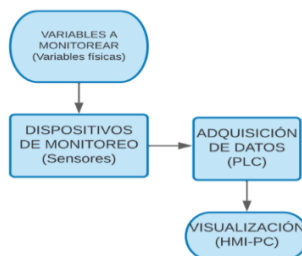
### 5.3. Metodología para la ejecución de la propuesta.

#### 5.3.1. Diseño de la cámara de niebla salina

Para el diseño se inicia con la selección de los sensores encargados de obtener los valores de cada una de las variables físicas, para que el PLC las lea y se visualice en el HMI. Todo esto se basa en el siguiente proceso en la Figura 49.

**Figura 49**

*Diagrama de flujo de diseño de la cámara de niebla salina*



**Variables a monitorear:** son las variables físicas que se va a obtener los datos (temperatura, caudal, presión) para posteriormente controlar y analizar.

**Equipos de monitoreo:** Son los elementos que se encargan de medir y acceder a la visualización de los datos de las distintas variables físicas que se está monitoreando.

**Adquisición de datos:** se obtienen los valores medidos por los equipos de monitoreo.

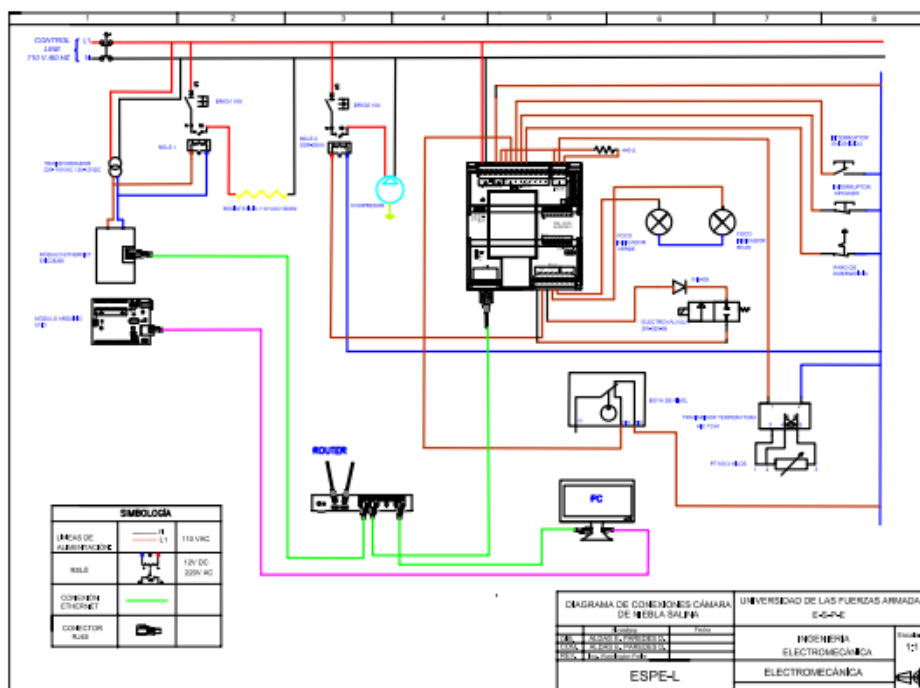
**Visualización:** el usuario puede tener acceso a los datos medidos.

### 5.3.2. Esquema de conexión de los elementos

Se presenta el sistema de conexión de los diferentes dispositivos necesarios para implementar el sistema de control multifuncional para los ensayos de corrosión, todo esto se muestra en la Figura 50.

**Figura 50**

*Esquema de conexión de los elementos*



*Nota:* Se muestra el esquema de conexión de los elementos. Tomado de Anexo C-01

### 5.3.3. Configuración de Módulo Arduino UNO

Para iniciar la programación del módulo Arduino, en primer lugar, se considera que la comunicación entre el PLC y el Arduino será por medio del protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP y se asigna una dirección IP para trabajar en una sola Red.

La dirección IP asignada al Arduino es 192.168.1.22

La configuración realizada en la placa Arduino permite realizar el control PWM que manda una señal de voltaje a un relé de estado sólido SSR-25DA para activar/desactivar la alimentación de la resistencia eléctrica. En la programación de Arduino se utiliza las siguientes librerías que se detalla en la Tabla 13.

**Tabla 13**

#### *Librerías Arduino*

<b>LIBRERÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
TimerOne.h	Permite usar timers para un control PWM más fino.
EthernetCard.h	Permite que Arduino se conecte al protocolo TCP/IP.
Modbus.h	Le da la posibilidad de ser maestro/esclavo en una red TCP.
ModbusIP_ENC28J60.h	Permite la comunicación con el PLC.

*Nota:* Se especificada cada una de las librerías utilizadas en la programación. Tomado de (ARDUINO EDUCATION, 2021)

Figura 51

### Programación Control PWM Arduino UNO

```

#include <TimerOne.h>
#include <Ethernet.h>
#include <Modbus.h>
#include <ModbusIP_ENC28J60.h>

// Used Pins
const int PWM = 5;

// Modbus Registers Offsets (0-9999)
const int cPWM_HREG = 50;

// ModbusIP object
ModbusIP mb;

void setup() {
  // The media access control (ethernet hardware) address for the shield
  byte mac[] = { 0x08, 0x0d, 0x0e, 0x0f, 0x0a, 0x0b };
  // The IP address for the shield
  byte ip[] = { 192, 168, 1, 22 };
  // Config Modbus IP
  mb.config(mac, ip);
  // Add SERVO_HREG register - Use addReg() for analog output or to store values in device
  mb.addReg(cPwm_HREG, 0);

  pinMode(PWM, OUTPUT);

  Timer1.initialize(100000); // Dispara cada 100 ms
  Timer1.attachInterrupt(Refresh_Modbus); // Active la interrupción y la asocia a ISR_Blink
}

void loop() {
  // Interrupción control de fase
  attachInterrupt(0, fase_interrupt, FALLING);
}

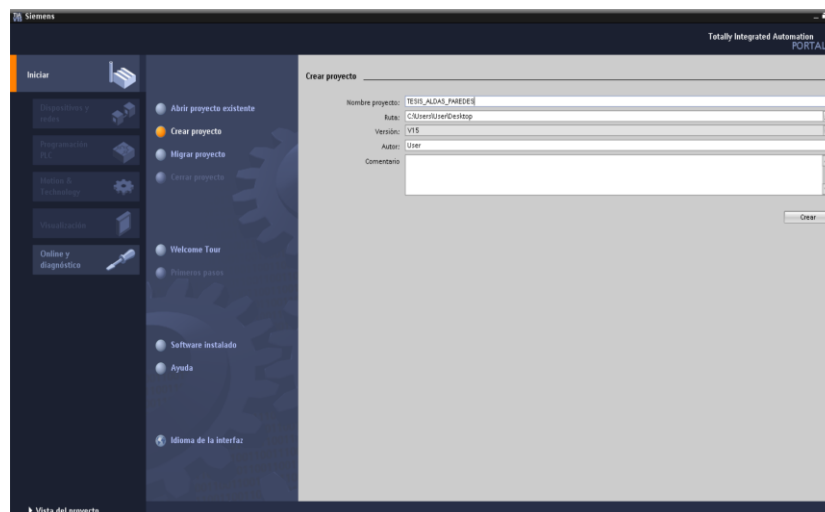
```

#### 5.3.4. Configuración del PLC para la adquisición de las variables físicas del sistema.

Para la configuración e inicio de la programación en el software Siemens TIA Portal V15, se procede con la creación de un nuevo proyecto y se asigna el nombre del proyecto como se observa en la Figura 52.

Figura 52

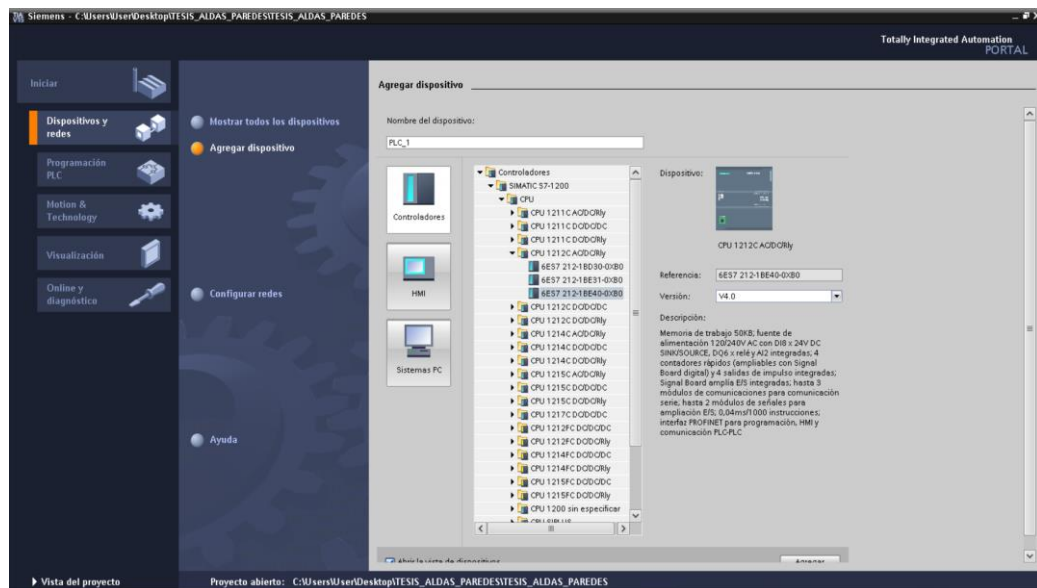
#### Creación de nuevo proyecto



Agregar dispositivos y redes, y en este caso se selecciona el dispositivo a utilizar, en este caso es el PLC Siemens S7-1200 con el CPU 1212 AC/DC/RLY con Referencia 6ES7 212-1 BE40-0XB0 Versión 4.0 como se observa en la Figura 53.

**Figura 53**

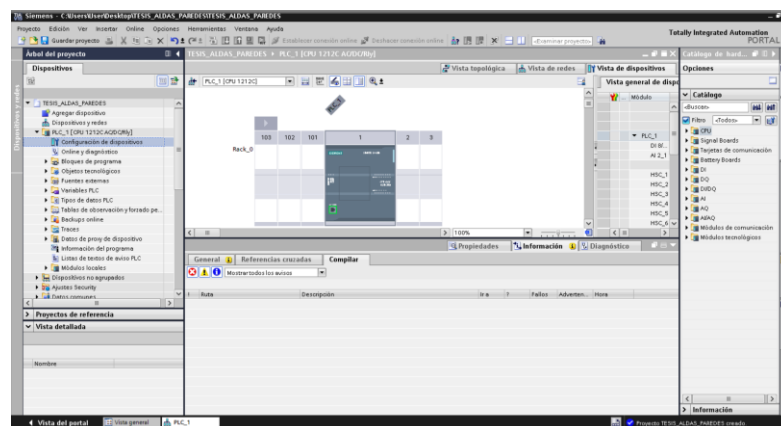
*Selección del PLC Siemens*



Luego, ir a la configuración del dispositivo en la parte izquierda del entorno de programación de TIA Portal, que se indica en la Figura 54.

**Figura 54**

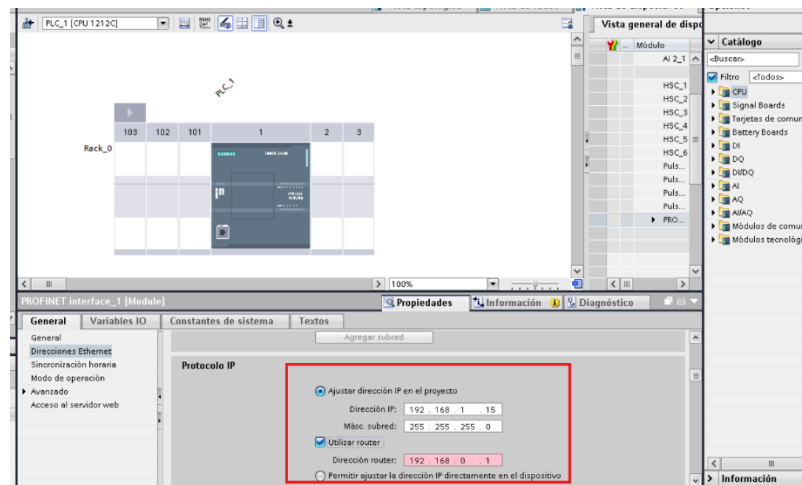
*Configuración de dispositivo*



En el slot de PROFINET interface y en Protocolo IP, ingresar una dirección IP para el PLC, aquí la dirección asignada es 192.168.1.15, con una máscara de subred de 255.255.255.0, y a la vez seleccionar Utilizar Router y asignar la dirección IP 192.168.0.1 como se detalla en la Figura 55.

**Figura 55**

*Asignación dirección IP*



Se procede a establecer comunicación con el PLC, en la Figura 56 se observa que el PLC se encuentra en línea con la especificación del CPU asignado 1212AC/DC/Rly con la dirección IP 192.168.1.15

**Figura 56**

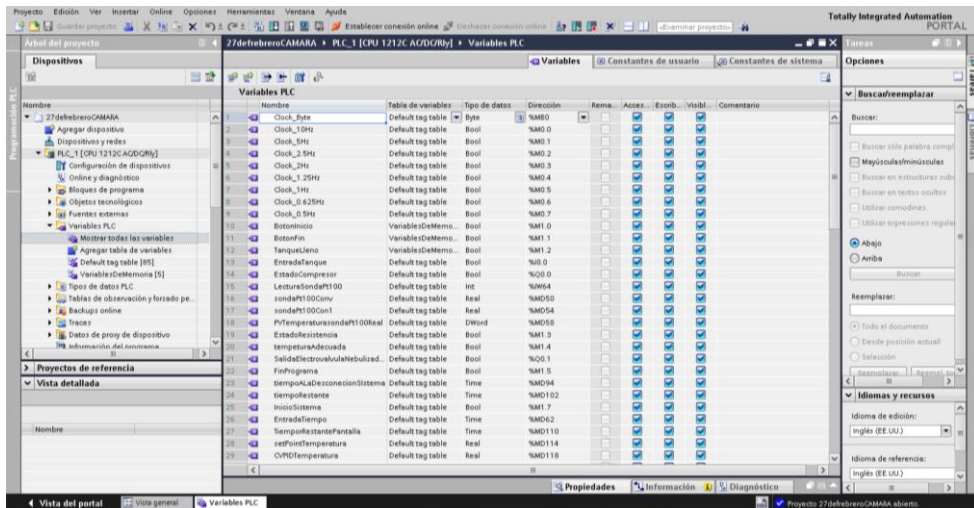
*Exploración del PLC*



En la Figura 57 se realiza la declaración de las variables que se asigna tanto como entradas, salidas y memorias.

**Figura 57**

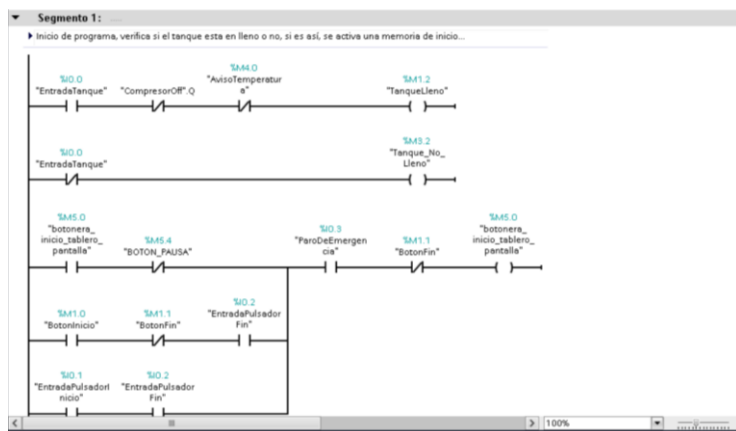
*Declaración de variables*



Se realiza el lenguaje de contactos o KOP, como se llama en Siemens, por ser sencillo y rápido de crear. Se inicia la programación estableciendo condiciones para el encendido del sistema. Si el nivel del tanque es correcto se activa una memoria de inicio, caso contrario no se activa. Véase en la Figura 58.

**Figura 58**

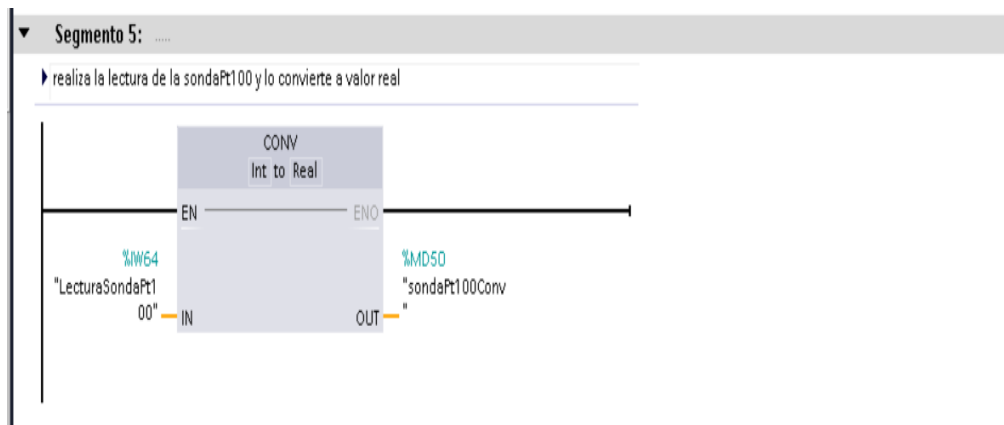
*Inicio de programación TIA Portal*



Se realiza la lectura del sensor de Temperatura PT100 en valor entero y lo convierte en un valor real. Véase en la Figura 59.

**Figura 59**

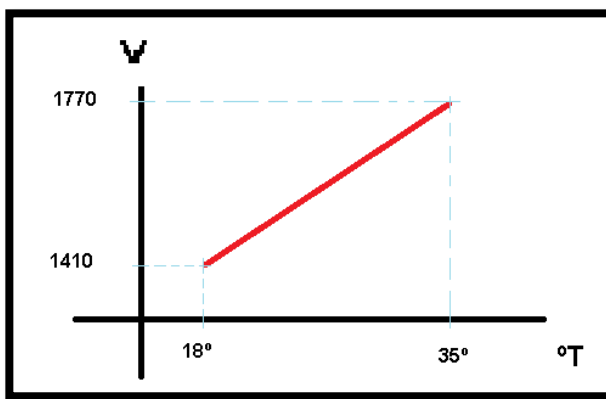
*Lectura y conversión de valores de PT100*



Con la conversión de los valores, se realiza el acondicionamiento de la señal de la temperatura, para lo cual se realiza una regresión lineal que se utiliza para convertir la señal del sensor a valores de temperatura, en donde primero se obtiene la señal del sensor de 1770 V para 35° C y 1410 V para 18° C, como se determina en la Figura 60.

**Figura 60**

*Regresión lineal*





Aplicamos la fórmula de la pendiente, porque la resistencia eléctrica varía linealmente.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

## Ecuación 2

*Pendiente de una recta*

Sacar la ecuación del comportamiento de esa línea de resistencia y despejar.

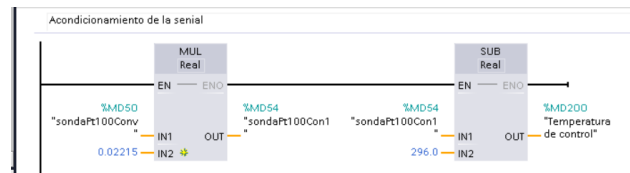
$$m(x_2 - x_1) = y_2 - y_1$$

$$m(x - x_1) + y_1 = y$$

Se aplica la ecuación del comportamiento de la resistencia. Véase la Figura 61.

### Figura 61

*Acondicionamiento de la señal*



Se establece el valor del Setpoint, en este caso los 35°C y se realiza el control de la temperatura con respecto a este valor. Véase la Figura 62.

### Figura 62

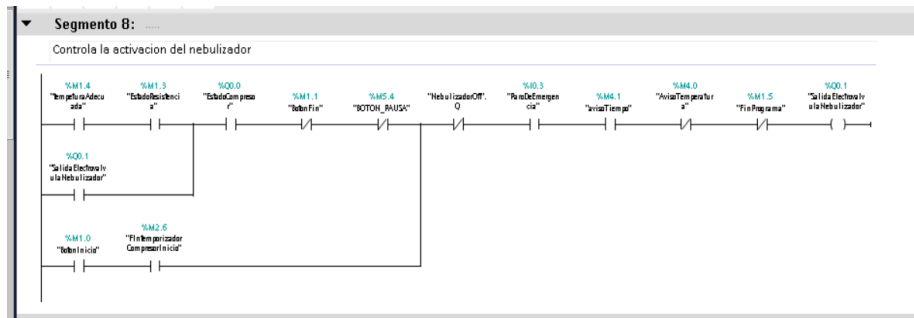
*Control de temperatura con respecto al Setpoint*



Una vez establecido el valor correcto de la temperatura en el interior de la cámara de exposición, se procede a la apertura de la electroválvula para la generación de la niebla. Véase en la Figura 63

**Figura 63**

*Control de activación de electroválvula*

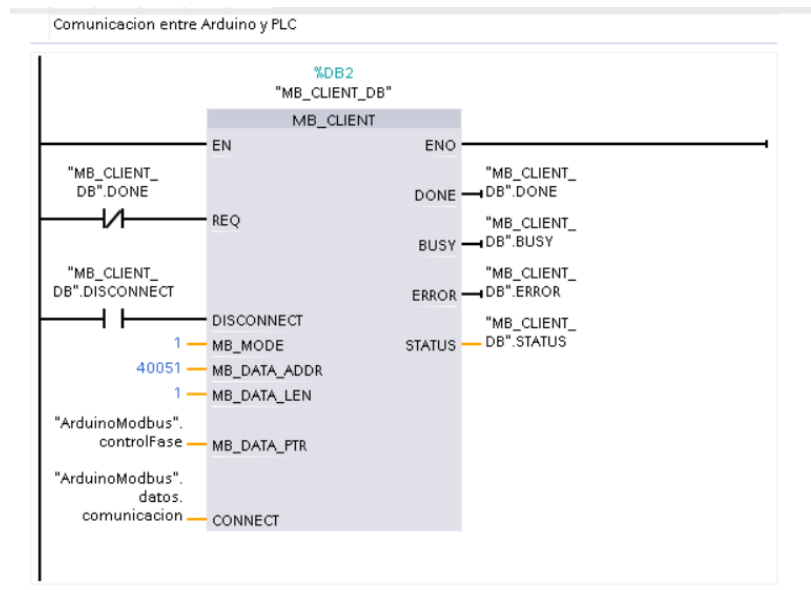


**5.3.5. Comunicación de ARDUINO con el controlador lógico programable.**

Se utiliza el bloque MB\_CLIENT\_DB, se configura los parámetros establecidos en el mismo, como se observa en la Figura 64.

**Figura 64**

*Bloque de comunicación MB\_CLIENT\_DB*



En la Tabla 14 se detalla los parámetros de configuración del Bloque de comunicación MB\_CLIENT\_DB

**Tabla 14**

*Parámetros de configuración MB\_CLIENT\_DB*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	CONFIGURACIÓN
REQ	Ejecución del Bloque	"MB_CLIENT_DB" DONE
DISCONNECT	Controla la conexión y desconexión del servidor MODBUS TCP.	"MB_CLIENT_DB" DISCONNECT
MB_MODE	Información de leer o escribir	1
MB_DATA_ADDR	Dirección inicial de los datos	40051
MB_DATA_LEN	Longitud de los datos: número de bits o palabras para el acceso a los datos	1
MB_DATA_PTR	Puntero al registro de datos Modbus, que presenta su dirección para la lectura de datos.	"ArduinoModbus" PWM 16#0263
CONNECT	Direcciona al módulo Arduino	"ArduinoModbus". datos. Comunicación
DONE	Conexión del módulo Arduino realizado.	"MB_CLIENT_DB". DONE
BUSY	Conexión con el módulo Arduino trabajando.	"MB_CLIENT_DB". BUSY
ERROR	Conexión con el módulo Arduino interrumpida o con fallo.	"MB_CLIENT_DB". ERROR
STATUS	Conexión con el Módulo Arduino y su rango	"MB_CLIENT_DB". STATUS 16#7006

*Nota:* Se detalla los diferentes parámetros de configuración MB\_CLIENT\_DB y se define la descripción de cada uno de ellos.

### 5.3.6. Comunicación y configuración de NI OPC Server Con TIA Portal V15

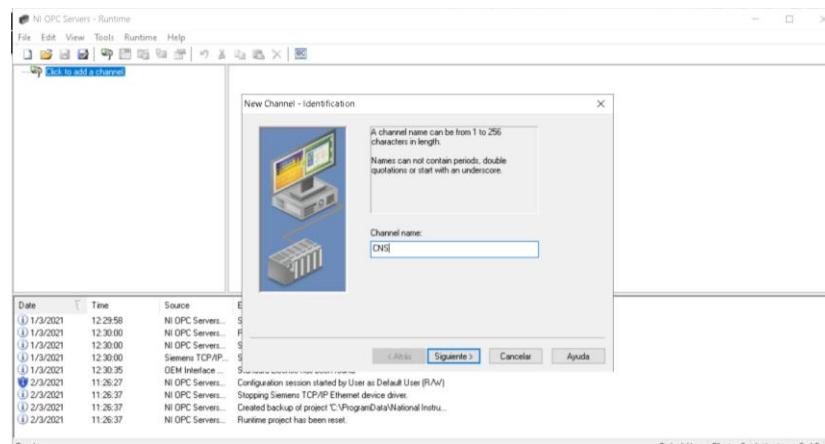
NI OPC Server es un software que permite la comunicación de un elemento de control con el sistema SCADA. Y en este caso nuestro elemento de control es el PLC Siemens S7-1200 y el sistema SCADA es el software LabVIEW 2020.

Para iniciar la configuración, TIA Portal V15 debe estar ejecutándose con el PLC Siemens en línea para que exista comunicación.

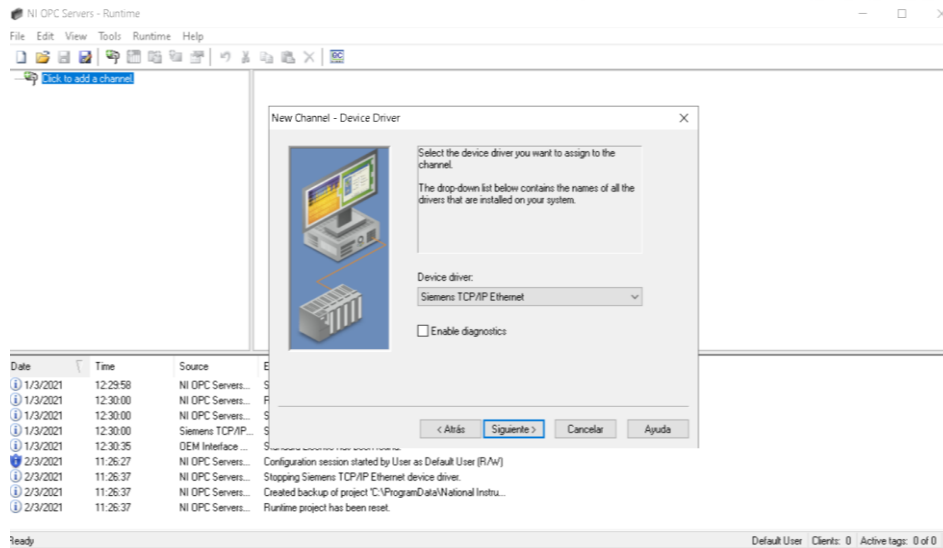
En OPC Server se crea un nuevo proyecto y se añade un nuevo canal, se asigna el nombre y seleccionar SIGUIENTE. Véase en la Figura 65.

**Figura 65**

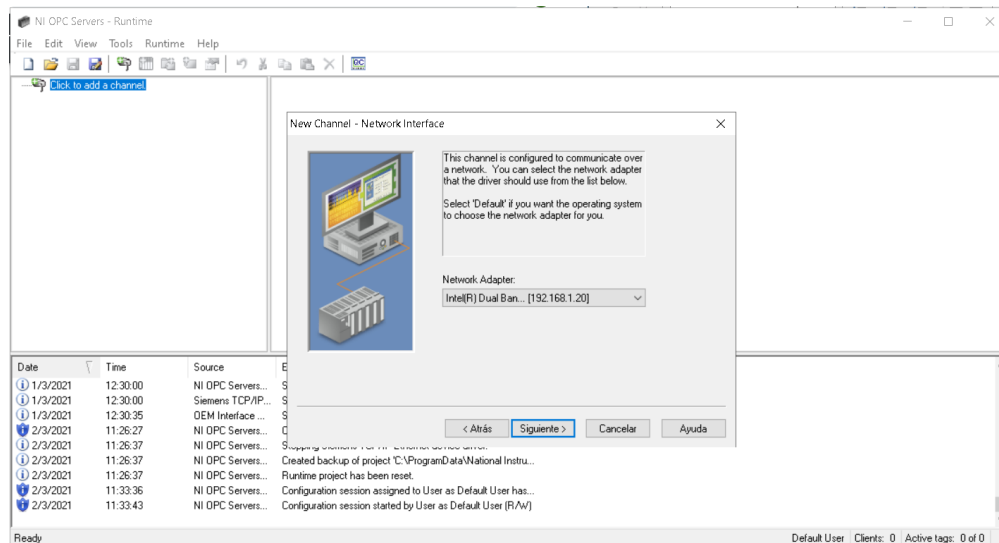
*New Channel OPC Server*



A continuación, se busca en la librería de OPC Server el dispositivo de control del sistema, que este caso es Siemens TCP/IP Ethernet y seleccionar SIGUIENTE, como se observa en la Figura 66.

**Figura 66***Device Driver OPC Server*

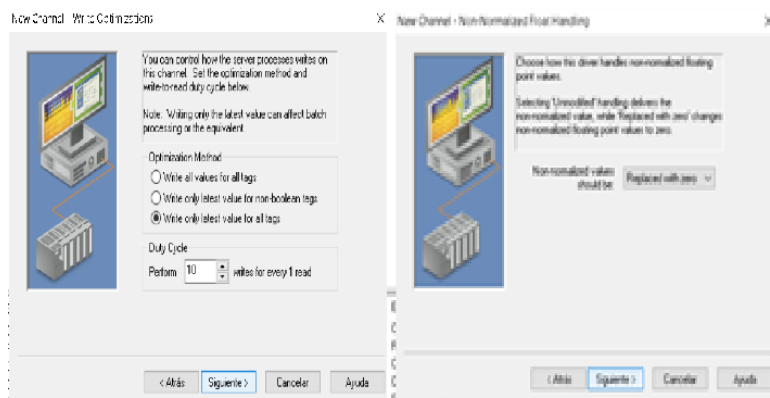
Este canal está configurado para comunicarse a través de una red. Se selecciona la dirección IP de PC\_System que en este caso es 192.168.1.20

**Figura 67***Network Interface OPC Server*

En las próximas ventanas seleccionar por defecto la opción SIGUIENTE hasta finalizar toda la configuración, como se ve en la Figura 68

**Figura 68**

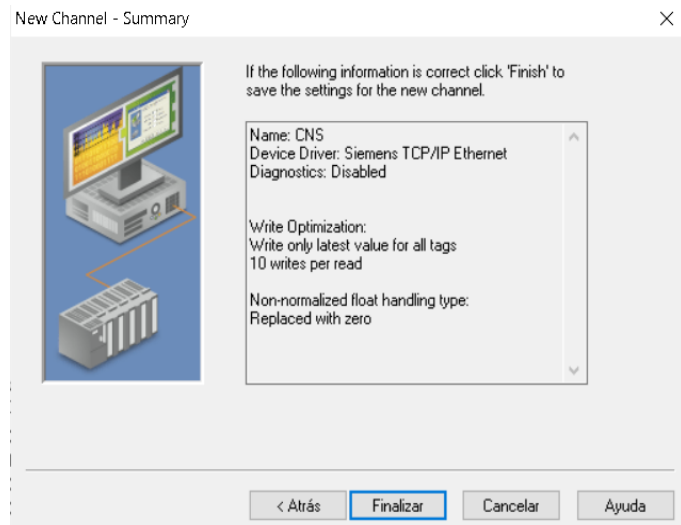
*Configuración por defecto OPC Server*



Para finalizar la configuración, en la Figura 69 se muestra el Resumen de toda la información. Seleccionar FINALIZAR si la información es correcta y se guarda la configuración del nuevo canal.

**Figura 69**

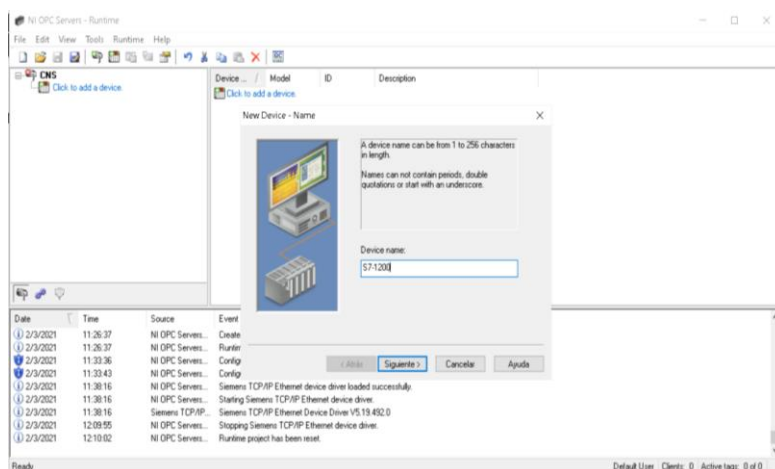
*Resumen de configuración OPC Server*



A continuación, se añade un nuevo dispositivo y se le asigna un nombre y presionar SIGUIENTE. Véase en la Figura 70.

**Figura 70**

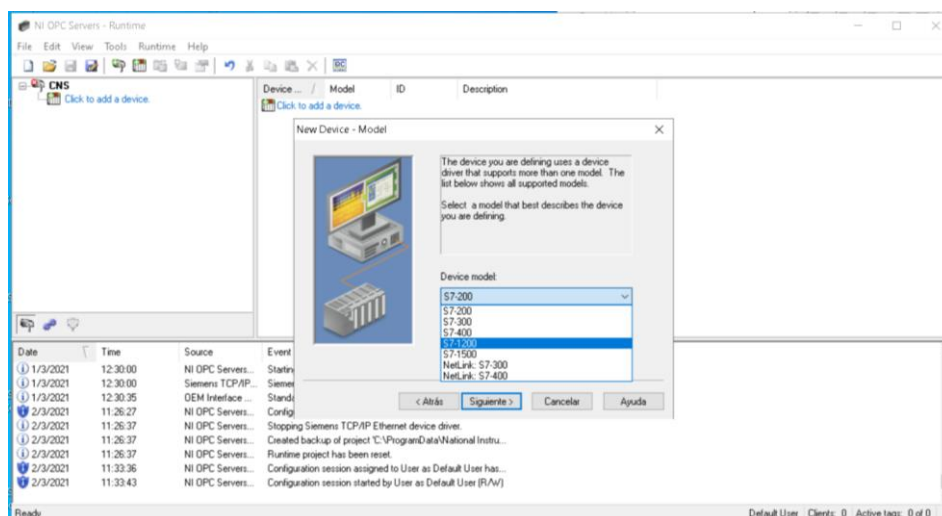
*Añadir dispositivo OPC Server*



En la Figura 71 se selecciona el modelo del dispositivo, en este caso es S7-1200 y presionar SIGUIENTE.

**Figura 71**

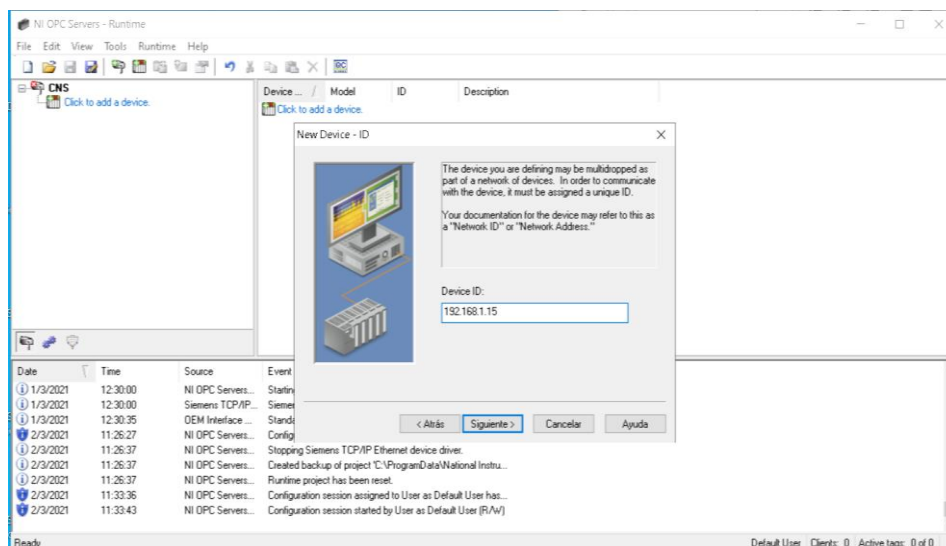
*Modelo de dispositivo OPC Server*



Establecer la dirección IP del dispositivo para enlazar la comunicación con el PLC. La dirección IP es 192.168.1.15. Véase en la Figura 72

## Figura 72

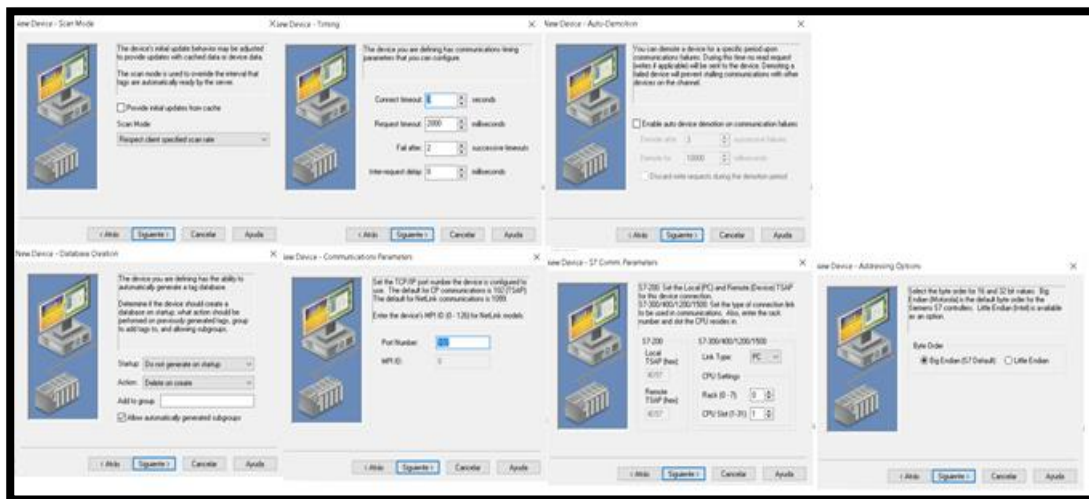
*Dirección IP del dispositivo OPC Server*



En las siguientes ventanas emergentes dar SIGUIENTE, hasta finalizar la configuración de dispositivo. Como se observa en la Figura 73.

## Figura 73

*Ventanas emergentes OPC Server*

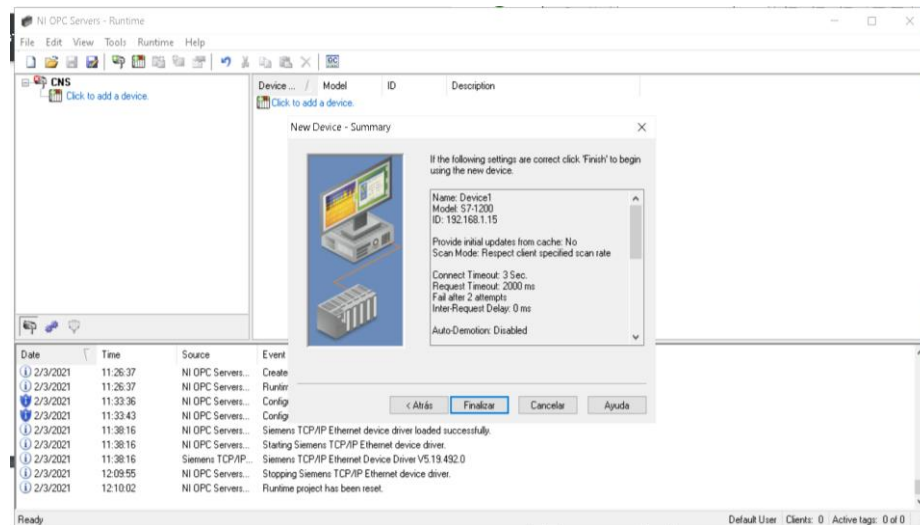




Para finalizar la configuración del dispositivo, en la ventana emergente se muestra el resumen de la configuración. Si está correcto, dar en FINALIZAR. Véase en la Figura 74

## Figura 74

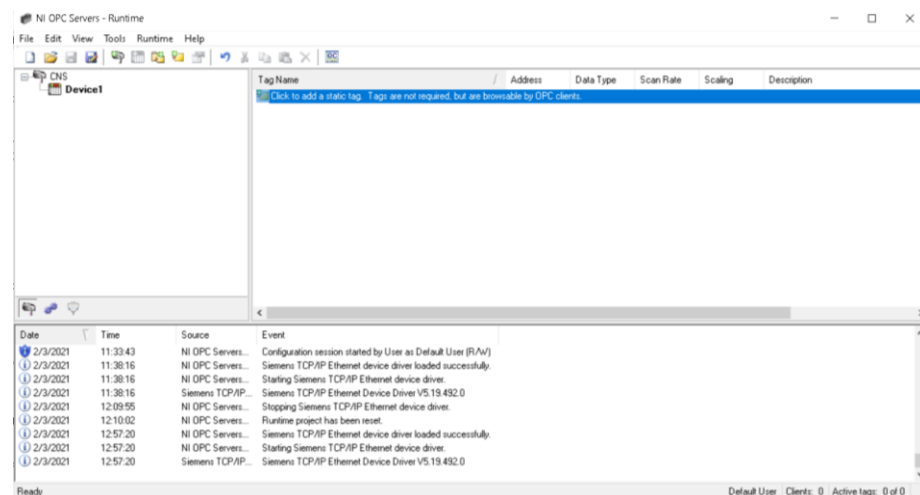
### Resumen configuración de dispositivo OPC Server



Luego de configurar el proyecto y el dispositivo, se procede a la creación de las carpetas para determinar las variables establecidas en el TIA Portal. Véase en la Figura 75.

## Figura 75

### Creación de carpetas para variables OPC Server



En la Tabla 15 se detalla las variables creadas para establecer la comunicación y la obtención de datos.

**Tabla 15**

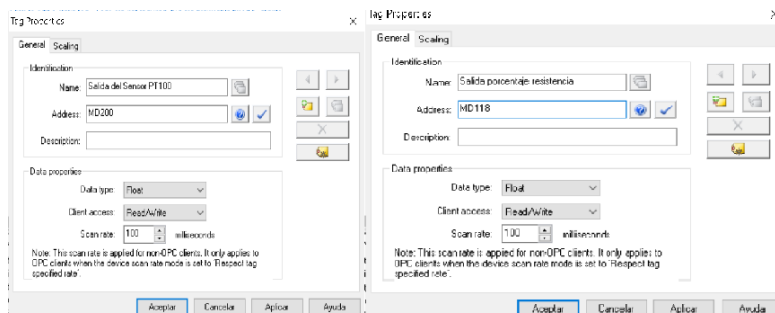
*Variables creadas OPC Server*

Nombre	Dirección	Tipo datos
Salida del sensor PT 100	MD200	Float
Salida porcentaje resistencia	MD118	Float

La Figura 76 y la Figura 77 detallan la configuración y creación de las variables a monitorear

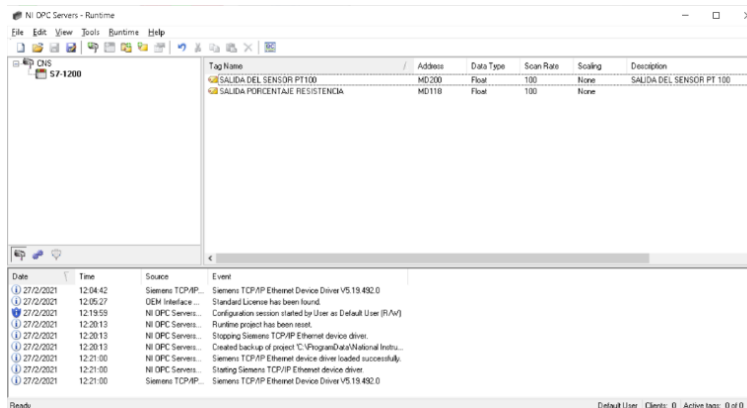
**Figura 76**

*Configuraciones variables OPC Server*



**Figura 77**

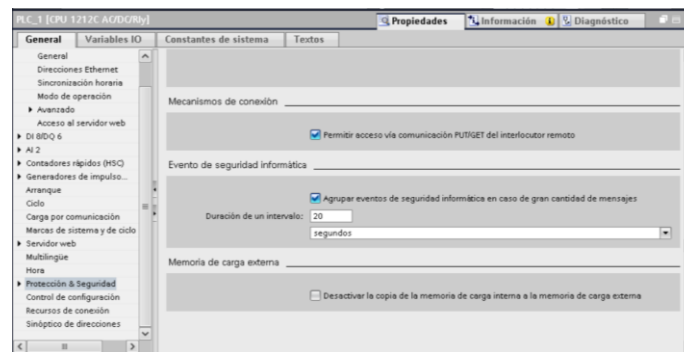
*Variables creadas OPC Server*



Para iniciar la comunicación entre el PLC y LabVIEW, se debe revisar en propiedades del PLC en TIA Portal en Protección & Seguridad -Mecanismos de conexión que esté habilitado la opción: **Permitir acceso vía comunicación PUT/GET del interlocutor remoto**, como se observa en la Figura 78

**Figura 78**

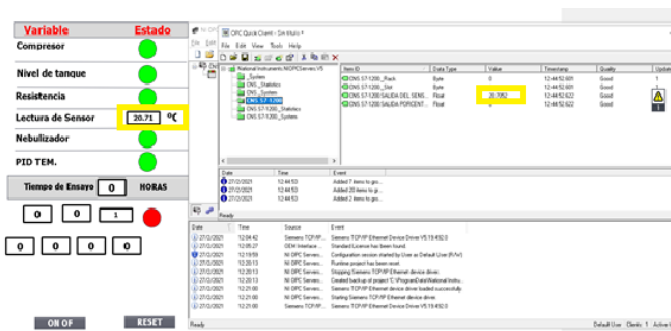
*Permitir acceso vía comunicación PUT/GET*



Se procede a entrar en modo cliente o QUICK CLIENT para chequear las variables y su estado, de esta manera se comprueba si existe la comunicación entre PLC y en el software LabVIEW. Se observa que el OPC Server está recibiendo los datos que envía el sensor de temperatura y se comprueba que con el SIMATIC WINCC Runtime tienen los mismos valores de temperatura. Véase la Figura 79.

**Figura 79**

*Comunicación TIA Portal V15- OPC Server 2020*

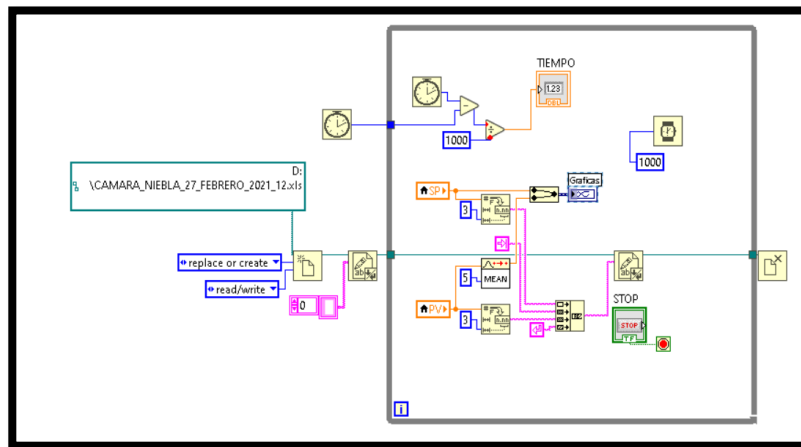


### 5.3.7 Configuración del software para recolección los datos.

Para obtener los datos de temperatura se utiliza el software NI LabVIEW 2020 para realizar la interfaz gráfica con el proceso del sistema, en dónde intervienen todas variables físicas. Como se observa en la Figura 80.

**Figura 80**

*Interfaz gráfica del sistema LabVIEW*



En esta interfaz gráfica se realiza la configuración de los datos que se va a obtener en un determinado tiempo, para así guardar en el Disco D: de la PC en un archivo .xlsx con el número de columnas y filas establecidos en que se va a registrar los datos. Véase en la Figura 81

**Figura 81**

*Archivo tipo .xlsx*



En la Figura 82 se observa el Front Panel del software LabVIEW, donde se encuentra los siguientes comandos como se indica en la Tabla 16.

Figura 82

Front Panel del sistema en LabVIEW

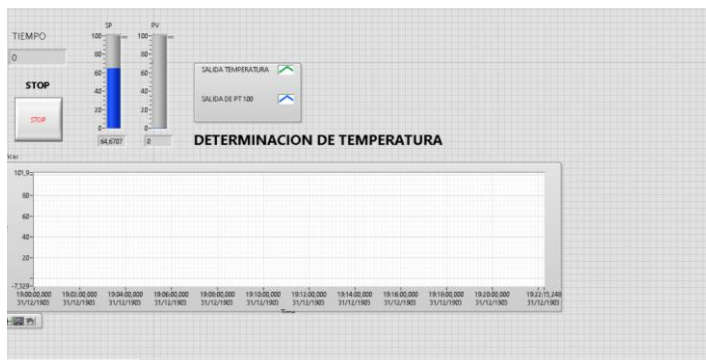
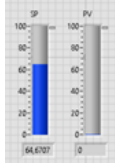
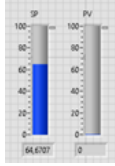
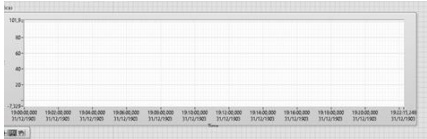



Tabla 16

Comandos Front Panel LabView

COMANDO	DESCRIPCIÓN
	Barra de salida de temperatura (SP))
	Barra de salida de la PT100 (PV))
	Gráfica de porcentaje VS tiempo
	Botón para detener el proceso

### 5.3.8 Adquisición de datos en NI LabVIEW 2020.

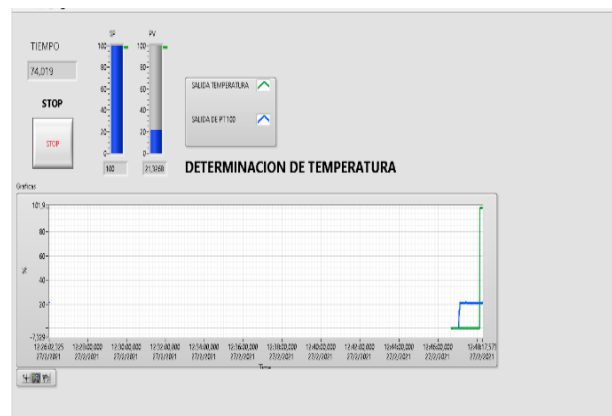
Una vez realizado todas las configuraciones pertinentes tanto en OPC Server como en NI LabVIEW 2020, se procede a iniciar con la ejecución de los programas incluido TIA Portal V15 para la adquisición de los datos.

Los datos serán almacenados en el Disco D: de la Pc en formato .xlsx

El porcentaje de salida de temperatura (línea verde) se mantendrá 0% durante 1 minutos, mientras que el valor de la salida de la PT100 varía en este transcurso de tiempo (línea azul). Véase en figura 83 y en el Anexo E-04

### Figura 83

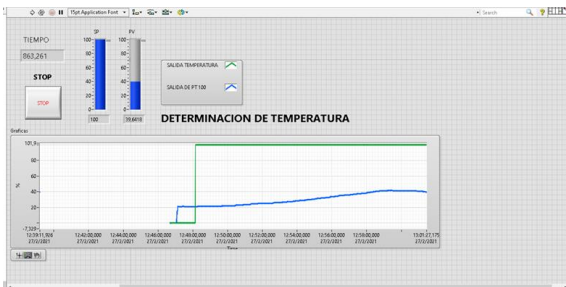
*Ejecución FrontPanel en Labview 2020*



Transcurrido este tiempo, el porcentaje de salida de temperatura (línea verde) ascenderá a 100% hasta que el valor de la salida de la PT100 alcance los 35°C (línea azul). Véase en Figura 84 y en el Anexo E-04.

### Figura 84

*Determinación de temperatura en LabVIEW 2020*

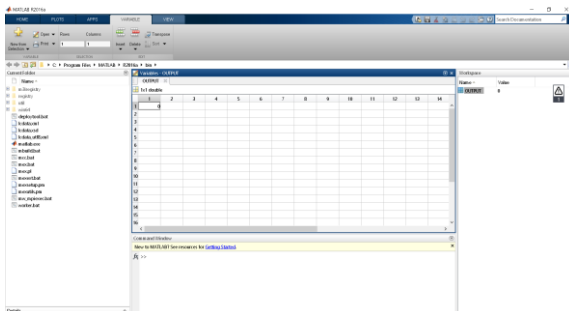


**5.3.9 Obtención de modelo matemático para obtener valores para el Control PID en el software MATLAB 2016**

Se crea un modelo matemático para describir un sistema físico a partir de los datos de las pruebas de salida medidos. Se inicia con la creación de una matriz en el espacio de trabajo o Workspace, la misma que se denomina OUTPUT, como se observa en la Figura 85.

**Figura 85**

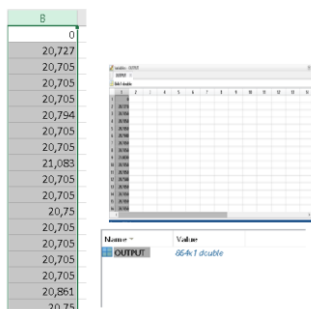
*Matriz OUTPUT en Matlab*



Los datos del archivo .xlsx que fueron generados por el software LabVIEW son ingresados en la primera columna de la variable OUTPUT en MATLAB. Donde se establece una Tabla de 864x1, que nos explica que se ingresan 864 datos. Como se indica en la Figura 86

**Figura 86**

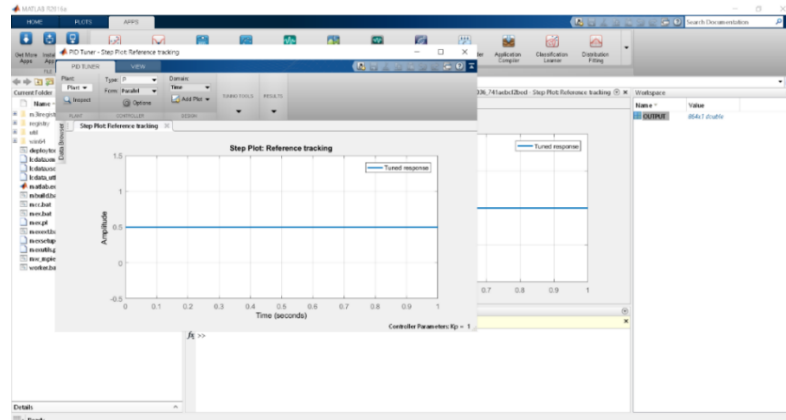
*Ingreso valores en columna de Variables OUTPUT*



En la aplicación seleccionar PID Tuner para diseñar un controlador robusto y de alto rendimiento. Como se muestra en la Figura 87.

**Figura 87**

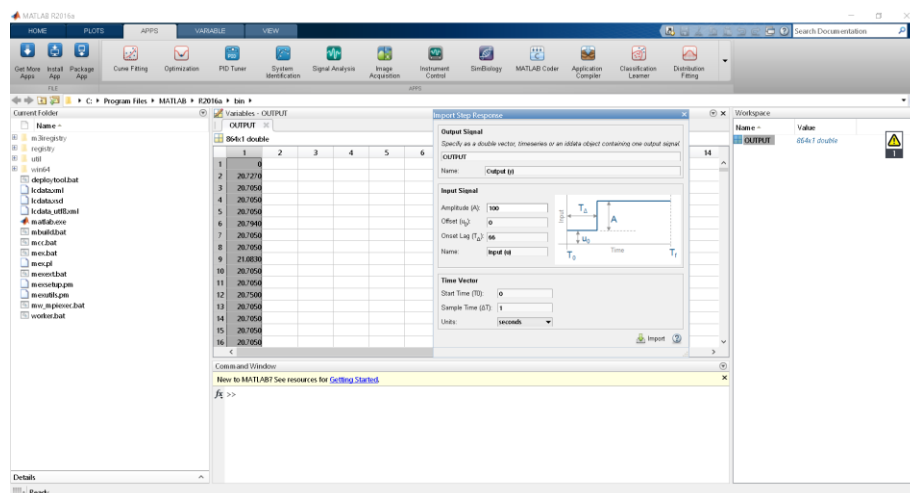
*Aplicación PID Tuner*



En la opción **Step Response** se ingresa los valores de señal de entrada para establecer la curva adecuada de la sintonización del control PID, donde la amplitud (A) es 100%, offset es 0% , Onset Lag es 66 segundos y Start time es 0 e importamos los datos ingresado. Vease la Figura 88.

**Figura 88**

*Ingreso de valores en STEP RESPONSE*

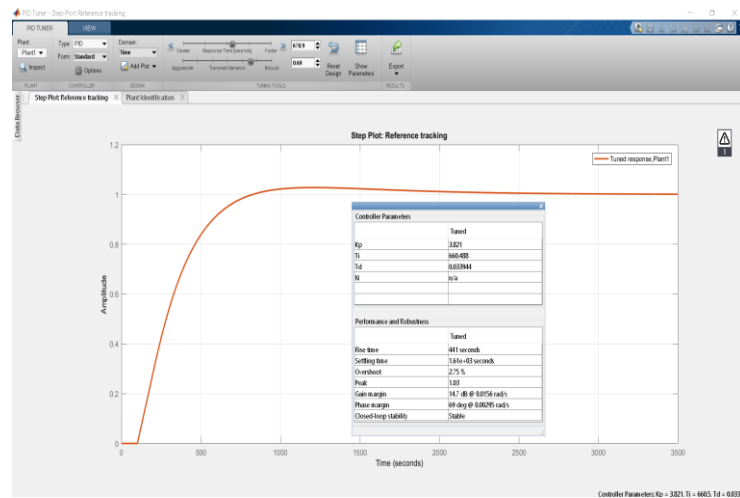




Por medio de la opción **Show Parameters** se realiza una estabilización de la variación de los parámetros del cual depende el control PID.

**Figura 89**

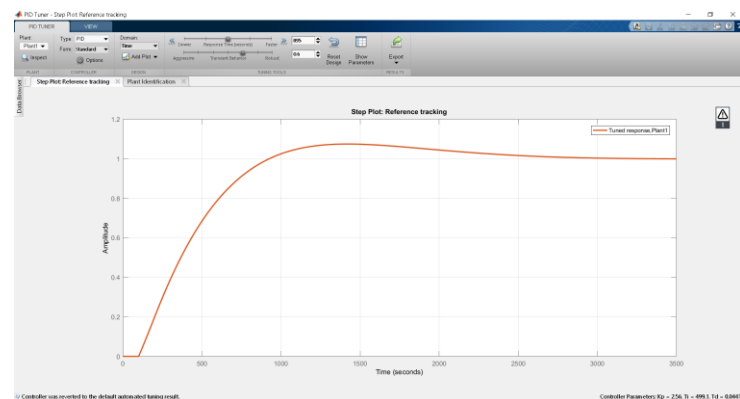
*Estabilización de parámetros de control*



El tiempo estimado de estabilización total es de 3500 segundos, el cual permite luego de ese lapso de tiempo tener valores más exactos para un buen control del PID.

**Figura 90**

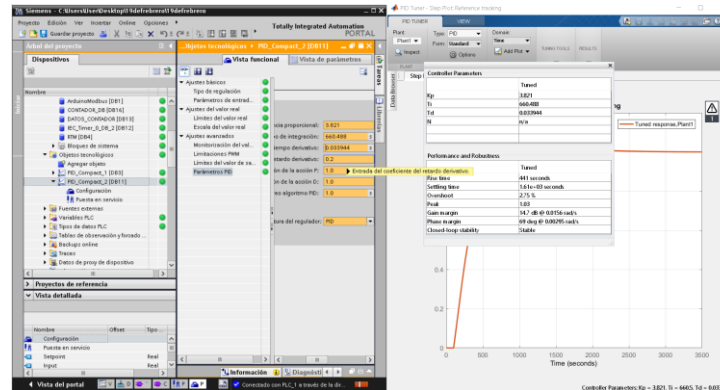
*Curva estabilizada de la planta*



Una vez estabilizada la curva en el periodo de tiempo se obtiene los siguientes valores con los diferentes parámetros para realizar un control PID fino, siendo estos valores los requeridos en el control PID COMPACT del Tia Portal V15.

**Figura 91**

*Ingreso parámetros de control en PID COMPACT*

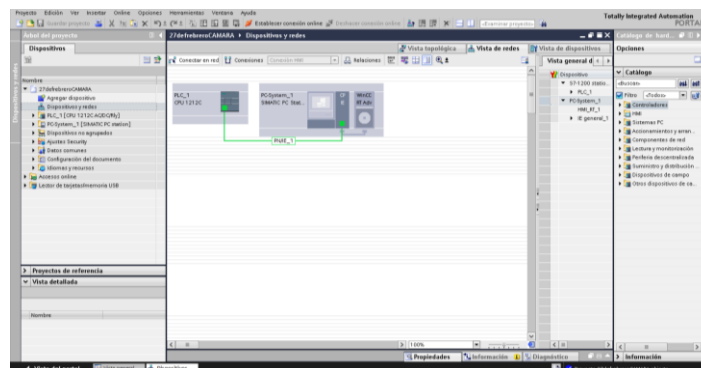


### 5.3.10 Diseño de la pantalla en el Pc\_System

Se realiza la configuración de WINCC RT ADVANCED y se ingresa un dispositivo nuevo. Para que exista comunicación entre el PLC y la PC, se añade un módulo Ethernet para la parte de WINCC RT ADVANCED que se encuentra en la pestaña de comunicaciones y seleccionar PROFINET/ETHERNET.

**Figura 92**

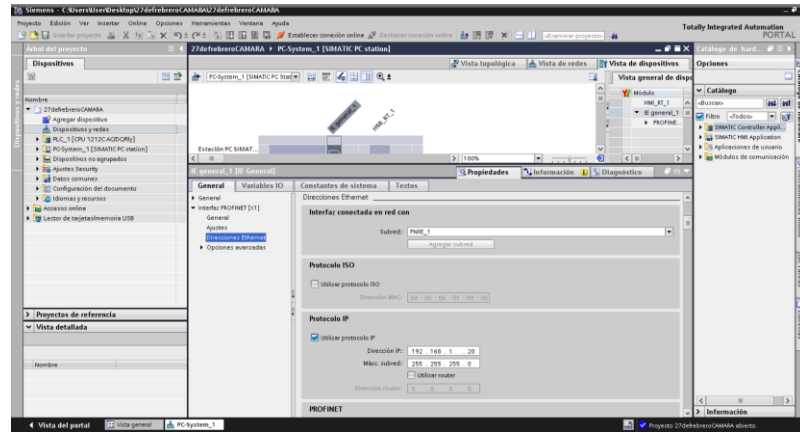
*Configuración PC\_System*



En Configuración General / Direcciones Ethernet se asigna la dirección IP 192.168.1.20 para que exista comunicación. Como se muestra en la Figura 93

Figura 93

Asignación dirección IP PC\_System

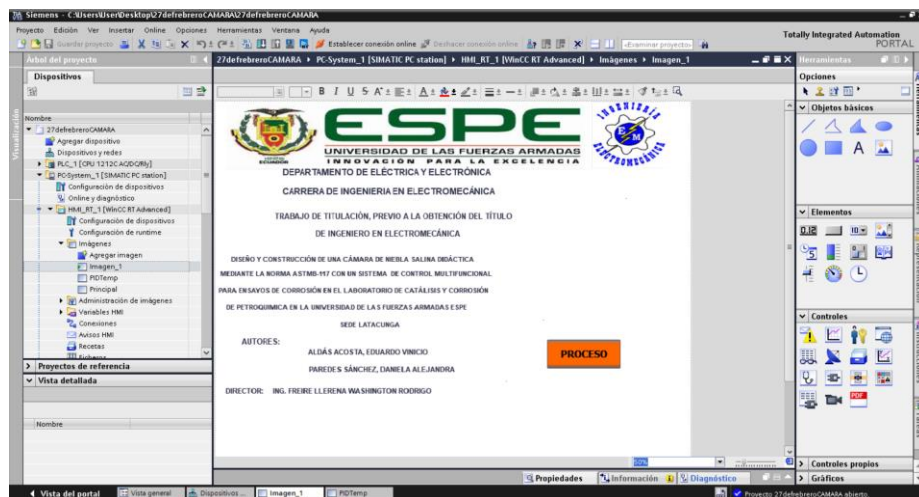


Diseño de la interfaz gráfica HMI.

La interfaz gráfica HMI se encuentra realizada en WINCC RT ADVANCED, donde se establecen los controles que ayudan al manejo del sistema, se visualiza la gráfica PID de temperatura, permitiendo ser un sistema amigable con el usuario.

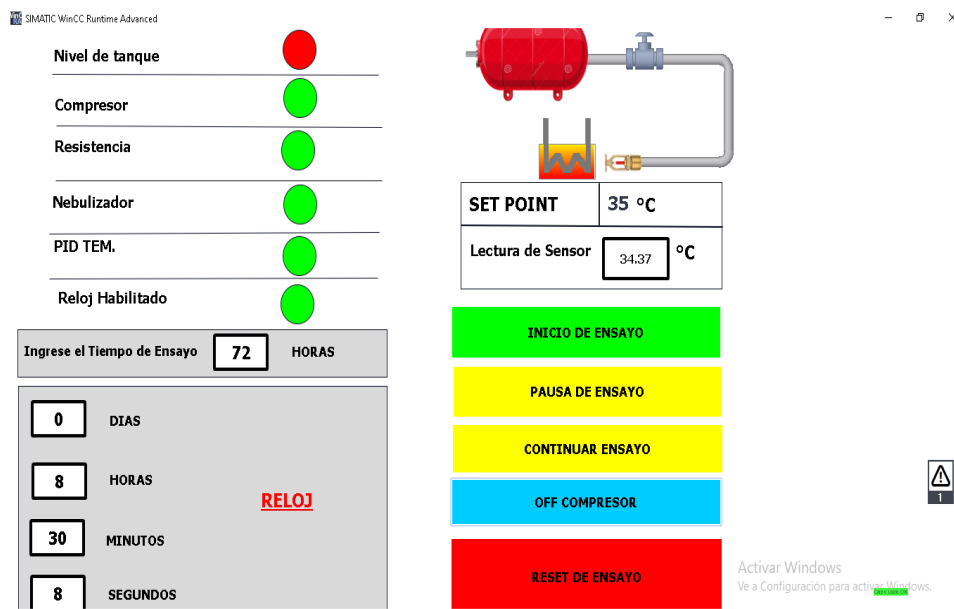
Figura 94

Pantalla de presentación HMI



**Figura 95**

*Pantalla HMI de monitoreo y control del sistema*



## 5.9 Pruebas de la Cámara de Niebla Salina

Para validar el correcto funcionamiento de la cámara de niebla salina didáctica se realizó un ensayo de 72 horas continuas, usando la técnica de la determinación del grado de corrosión de un metal, por medio del método de pérdida de peso, hay que saber que dentro de las primeras 24 horas de ensayo ya se pueden obtener resultados visibles adecuados para el estudio de corrosión.

### 5.9.1 Preparación de la solución Cloruro de Sodio (NaCl)

La solución debe contener del 3-5% en peso de NaCl, lo que establece la norma ASTM-B117 para un buen ensayo de corrosión, el volumen de solución que se usa en el equipo para el ensayo de corrosión acelerada es de 20 litros por cada 24 horas, el cual estará distribuido entre el tanque de almacenamiento y tanque de reserva.

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{v \text{ solucion}} * 100$$

### Ecuación 3

*Porcentaje de peso en volumen*

*Nota: Tomado de (SCHMIEDL & AUDELO, 2017)*

Donde:

$$\% \frac{P}{V} = \text{Porcentaje de peso en volumen}$$

Reemplazando los valores se obtiene la masa del soluto.

$$5\% = \frac{m \text{ soluto}}{60000 \text{ ml}} * 100$$

$$m \text{ soluto} = \frac{5(60000 \text{ ml})}{100} = 3000g$$

*3000g equivale a 3kg*

Se llena el tanque exterior con 60 litros de agua adicionando 3kg de NaCl, para preparar la solución al 5% en peso para un ensayo de 3 días.

La sal de consumo humano puede ser usada para la realización de la prueba, porque cumple con parámetros sobre el porcentaje de masa de impurezas totales que no debe tener más de 0.3% y el porcentaje de yodo que no debe ser más de 0.1%.

### 5.9.2 Preparación de muestras

1. La norma recomienda las dimensiones de placas par ensayos de corrosión, estas son 12x7 cm, mas no exige por lo que se puede hacer uso de varillas o placas de tamaños promedio que calcen en las probetas diseñadas.

2. Las placas deben tener una superficie uniforme por lo que se lijo hasta dejar libre de impurezas y oxido, luego pasar con una franela empapada de alcohol e ingresar a las probetas de la cámara.

3. Para el ensayo se utilizó 3 placas que se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 17**

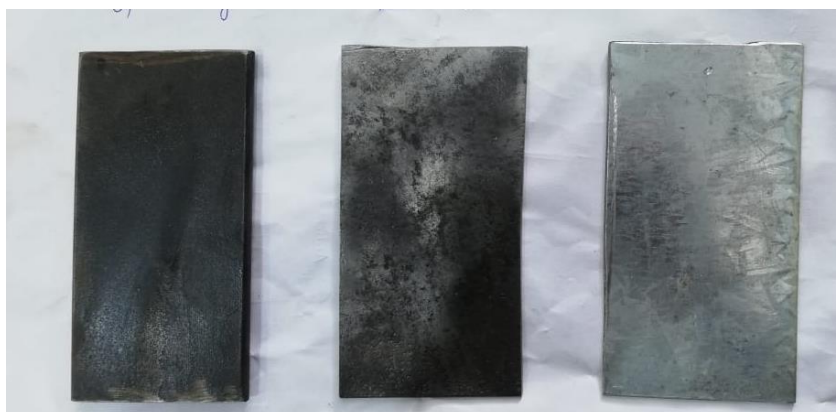
*Peso y medida de materiales utilizados en el ensayo de corrosión*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>MEDIDA (cm)</b>
ACERO SAE 9250	0.420	12x6
HIERRO	0.105	12x6
ALUMINIO	0.080	12x6

En la Figura 96 se observa que cada placa está libre de impurezas y óxido.

**Figura 96**

*Muestras de metales libre de impurezas*



Posteriormente se ingresa las placas, a la cámara para dar inicio al ensayo de 72 horas, realizamos todo el procedimiento para poner en marcha al equipo, guiándonos en el manual que está en el Anexo F-01

Al finalizar las 72 horas de ensayo, se procedió a retirar cuidadosamente las placas, para así realizar nuevamente su peso detalladas en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Peso de las muestras de metales después del ensayo*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO LUEGO DE ENSAYO (kg)</b>	<b>MEDIDA (cm)</b>
ACERO SAE 9250	0.415	12x6
HIERRO	0.096	12x6
ALUMINIO	0.076	12x6

En la Figura 97 se evidenció la presencia de la corrosión acelerada luego de las 72 horas de ensayo.

**Figura 97**

*Presencia de corrosión en las muestras de metales*



En el ensayo realizado para la comprobación del funcionamiento del equipo se puede evidenciar los resultados positivos, una vez finalizado el ensayo de corrosión acelerada, en la Tabla 18 se identifica la pérdida de peso que se generó con la corrosión, dentro de la cámara ya que se cumple los parámetros que exige la norma ASTM-B117 que son la temperatura de 35 °C con un rango de  $\pm 2$  °C , la presión de 15 PSI y la concentración de peso de la solución cloruro de sodio(NaCl) por lo que podemos aprobar a este equipo como una herramienta didáctica para el estudio de corrosión.



## Conclusiones

- Se construyó una Cámara de Niebla Salina acorde a la norma ASTM-B117, la cual genera y mantiene un ambiente de corrosión acelerada, el tamaño del equipo se dimensionó y se obtuvo un promedio basándose en los parámetros establecidos en la Norma y en otros prototipos ya existentes.
- En el sistema de control para un ambiente de corrosión acelerada, las variables involucradas son el caudal de expulsión en el nebulizador de la solución de NaCl, que es de 0,88 l/h, la presión es de 15 PSI y la temperatura de 35 ° C con un rango de variación +2. ° C y -2. ° C.
- Para la temperatura se realizó un control, con un relé de estado sólido (SSR) y Arduino, para la conmutación de cargas de corriente alterna en la resistencia eléctrica, por el método control PWM, y para tener una lectura casi exacta del sensor de temperatura PT-100, se calibró la señal con la ayuda de una pistola de temperatura y esta señal fue acondicionada por medio del OPC server de LabVIEW 2020 y el PID TUNNER de Matlab el cual nos permite alcanzar los modelos matemáticos por medio de funciones de transferencia y los parámetros de sintonización adecuados, obteniendo así todas las variables dentro de los parámetros expuestos en la norma ASTM-B117 para un control óptimo del equipo.
- Se implementó un protocolo de comunicación llamado MODBUS TCP/IP basado en la arquitectura maestro/esclavo actuando como maestro el PLC S7 1200 Y como esclavo el Arduino.
- Se enlazó todas las variables requeridas a una interfaz gráfica amigable en donde se puede visualizar un orden de encendido del equipo, además se puede evidenciar la lectura de temperatura en el interior de la cámara, y también se puede observar un reloj

programable para el tiempo de ensayo y una vez finalizado, este tiene un orden de apagado ofreciendo así seguridad para el equipo y el operario.

- Se realizó un ensayo con tres placas metálicas las cuales fueron pesadas antes del ensayo se programó un tiempo de 72 horas, este ensayo fue monitoreado cada hora para constatar su buen funcionamiento de la cámara de niebla salina , los resultados obtenidos fueron positivos pues en las tres placas metálicas que se introdujeron al interior de la cámara se evidenció la presencia de la corrosión en las placas metálicas y el desgaste era cierto y para comprobarlo se volvió a pesar dichas placas dando como resultado la disminución de su peso en el Acero SAE 9250 con 0.415 gr., Hierro con 0.096 gr. y Aluminio con 0.076 gr.
- Se elaboró un manual para el buen uso de la cámara de niebla salina aquí se considera pasos para el encendido del equipo, pasos para la puesta en marcha, cómo preparar las probetas para realizar un buen ensayo y también se considera advertencias y peligros tanto para el equipo como para el operario y por último se menciona el mantenimiento que se debe realizar en la cámara de niebla salina para así prolongar su vida útil de todos sus componentes

### Recomendaciones

- Para no forzar el funcionamiento del equipo y conservar su vida útil, usar el equipo hasta las 72 horas de ensayo ya que en las primeras 24 horas se pueden evidenciar el efecto de la corrosión acelerada en las placas lo cual sirve para realizar los estudios de corrosión.
- Debido al ambiente corrosivo que se genera en el interior de la cámara, se reducirá la vida útil de los componentes que tienen contacto directo con este ambiente, como son la resistencia eléctrica y la boquilla nebulizadora por lo que se deberán reemplazar una vez se cumpla su vida útil de funcionamiento.
- Limitarse a manejar el equipo únicamente para lo que fue diseñado, no se recomienda manipular su sistema eléctrico de funcionamiento, ni su sistema de control ya que esto podría alterar todas las variables físicas que fueron calibradas.
- Se recomienda monitorear regularmente cada ensayo realizado para así evitar riesgos o daños en el equipo.
- Una vez finalizado cada ensayo abrir la tapa hermética de la cámara de niebla salina y esperar que se ventile, para poder retirar las placas de estudio, tener mucho cuidado con la resistencia eléctrica, ya que aún debe estar caliente y evitar tocarla para no presentar quemaduras o accidentes.
- Se recomienda leer el manual de funcionamiento y manual de mantenimiento antes de usar el equipo para lograr un buen manejo y una larga prolongación de la vida útil del equipo y a la vez evitar accidentes.
- Procurar antes del inicio del ensayo que la tapa de la cámara esté completamente cerrada para evitar fugas de niebla por las partes laterales y frontal de la cámara.
- Después de la realización de cada ensayo vaciar el tanque principal de solución abriendo su llave para vaciado, y de la misma manera vaciar el tanque auxiliar de

solución que se encuentra al interior de la cámara de exposición, con la apertura de su válvula de bola manual.

### Bibliografía

ACESCO. (2020). METALTUB Tubería Estructural y Cerramiento.

ACRILUX. (2018). Propiedades del acrílico. Acrilicos Acrilux.

ARDUINO EDUCATION. (2021). Arduino Uno Rev3 . Recuperado el 18 de 02 de 2021, de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Arteaga, D., & Tobar, E. (2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DE ENTRENAMIENTO CON APLICACIONES DE CONTROL PID DE UN CALDERO DE UNA CÁMARA DE ESTABILIDAD UTILIZANDO LA INTERFACE NI MYDAQ Y EL SOFTWARE LABVIEW.

Dahbura, L. (2012). Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión [Universidad de El Salvador]. En Scientia et Technica. Recuperado el 11 de 01 de 2021, de <https://doi.org/10.22517/23447214.5045>

Diansa. (2019, marzo 12). La fibra de vidrio: características y formas de uso . Recuperado el 16 de 12 de 2020, de <http://diansa.com/blog/2019/03/20/fibra-de-vidrio/>

Donald Novotny, & David Brod. (2015, mayo 3). Current Control of VSI-PWM Inverters . IEEE Xplore. Recuperado el 25 de 11 de 2020, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/4158027>

FERRER, A., & PINILLA, C. (2015). Diseño Y Fabricación De Una Cámara De Niebla Salina Para Realizar Ensayos De Corrosión, Según Norma ASTM B-117 Para el Laboratorio de Materiales de la Fundación Universitaria los Libertadores. Institución Universitaria Los Libertadores.

Flores, E., Quezada, J., Solís, A., Calderón, H., & Mendoza, E. (2017, julio 4). Implementación de protocolo MODBUS RTU en la comunicación de un PAC y un variador de velocidad para el control automático de motores eléctricos | Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca. Boletín Científico Escuela Superior de Tizayuca.

FluidMaster. (2020). Datos Técnicos Válvula de llenado 747UK.

Friedrich, G. R., & Ardenghi, J. R. (2009). Un modelo para el análisis de la confiabilidad de Ethernet Industrial en topología de anillo. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 6(3), 101–109.

Gudino, M. (2017, diciembre 22). Guía de comparación de las placas Arduino. Recuperado el 10 de 01 de 2021, de <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/arduino-uno-vs-mega-vs-micro>

Hernández, E. (2018, enero 6). AUTRACEN Walking through industry 4.0. Recuperado el 18 de 12 de 2020, de <http://www.autracen.com/estructura/#:~:text=Hardware%3A Parte física%2C tangible del,y%2Fo digitales%2C etc.>

Logicbus. (2019, junio 17). Protocolos de comunicación industriales. Artículo. Recuperado el 20 de 01 de 2021, de <https://www.logicbus.com.mx/blog/protocolos-de-comunicacion-industriales/>

Molina Cruz, D. A., Cedeño Ferrin, J. A., Marcillo Parrales, K., Marcillo Parrales, A., Ortiz Hernandez, M., Mero Lino, E., & Merchán García, F. (2019). Módulo con controladores lógicos programables para la enseñanza-aprendizaje de electrónica [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. En *Módulo con controladores lógicos*

programables para la enseñanza-aprendizaje de electrónica.

Molina Vuistaz, N., Nieva, N., & Martinez, A. (2017). Controlador Logico Programable Para Soluciones De Automatización Y Control En La Pequeña Y Mediana Empresa Programmable Logic Controller for Automation and Control Solutions in the Small and Medium Company. 2, 9.

MOTOREX. (2021). Resina de Poliéster | Acelerante de Cobalto al 6%. Recuperado el 16 de 12 de 2020, de <http://www.motorex.com.pe/p/acelerante-de-cobalto-al-6/>

Navarrete, E. (2007). Corrosión y degradación de los metales [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL]. En Bibdigital.epn.edu.ec. Recuperado el 26 de 08 de 2020, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2771/1/CD-0553.pdf>

NORMA ASTM B-117. (1976).

Orozco, F. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de control y comunicacion por internet para reporte de procesos industriales para toma de decisiones a nivel gerencial [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Recuperado el 19 de 02 de 2021, de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7933/Tesis\\_Final\\_Fausto\\_Orozco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7933/Tesis_Final_Fausto_Orozco.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Padrón, A., & Pérez, L. (2016). Diseño de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión. En Zagan.Unizar.Es. Universidad de la Laguna.

RECALDE, Ó. (2014). Diseño y Construcción de una Cámara de Niebla Salina y su Uso en un Estudio de Recubrimientos de Níquel por Electrodeposición Oscar. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Salazar Jiménez, J. A. (2015). Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica) [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. En Revista Tecnología en Marcha.

SCHMIEDL, E., & AUDELO, F. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOCH. ESCUELA POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

SIEMENS. (2018). MANUAL DE SISTEMA SIMATIC S7 CONTROLADOR PROGRAMABLE S7-1200. 4.2.3.

Soto, R. (2012). Restitución de la resistencia a cortante en vigas afectadas por corrosión en los estribos a través de métodos usuales de rehabilitación a cortante . (Número December 2012) [Universidad Autónoma de Nuevo León].

Ulloa, H., & Rodríguez, T. (2012). Análisis y estudio de los sensores aplicados a la Mecatrónica para prácticas en el Laboratorio de Electrónica Control y Automatismo utilizando el Módulo de Entrenamiento NI-QNET-015. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.



**Anexos**