

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



**SISTEMA DE CONTROL DE UNA MINI LAVADORA DE
FIBRA DE VICUÑA POR ULTRASONIDO**

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Ingeniería
Mecatrónica que presenta:

Alex Jhon Quispe Mescoco

Asesor:

Eliseo Benjamín Barriga Gamarra

Jesús Alan Calderón Chavarri

Lima, 2023

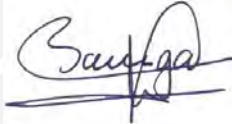
Informe de Similitud

Yo, **Eliseo Benjamín Barriga Gamarra**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulado: “**SISTEMA DE CONTROL DE UNA MINI LAVADORA DE FIBRA DE VICUÑA POR ULTRASONIDO**”, del autor: **Alex Jhon Quispe Mescoco** dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 15%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 09/06/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 30 de Junio del 2023

Apellidos y nombres del asesor: <u>Barriga Gamarra, Eliseo Benjamín</u>	
DNI: 08273367	
ORCID: 0000-0002-7781-6177	



© 2023, Alex Jhon Quispe Mescco

Se autoriza la reproducción total o parcial,
con fines académicos a través de cualquier
medio o procedimiento, incluyendo la cita
bibliográfica del documento.

RESUMEN

El Presente Trabajo, comprende el desarrollo del sistema de control de la minilavadora de fibra de vicuña y está comprendida en 5 capítulos

El capítulo 1 detalla la problemática, características de la fibra de vicuña, antecedentes de fabricación de máquinas similares, así como un marco teórico de los componentes utilizados durante el desarrollo de este trabajo.

En el capítulo 2, se expone las consideraciones que se han tomado en cuenta para el diseño y la fabricación del sistema de control del equipo, así como una descripción de sus características, funciones y soluciones para el desarrollo del sistema de control de la mini lavadora de vicuña.

En el capítulo 3, se describe todos los procedimientos realizados para el desarrollo del sistema de control de la máquina, previamente se explica el funcionamiento de la máquina y posteriormente se detalla el desarrollo y la implementación del sistema de control en base a controladores, sensores y actuadores industriales.

Finalmente, el capítulo 4 muestra las pruebas de funcionamiento realizadas. En el capítulo 5, se realiza una estimación de costos de los componentes y accesorios utilizados durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis hijos Pavel Alexander, Yhosmel Eduardo y Theo Milan, que representan mi mayor motivación,

a mi madrecita, que en paz descansa, y mi papá, por el apoyo incondicional que me brindaron en cada emprendimiento realizado;

a mis hermanos Fredy, Juane y Paty, que siempre me dieron el aliento para seguir adelante,

a Fresia, la mujer que me acompaña en la lucha, día a día, y al mismo tiempo llena mis días de alegría y felicidad.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, que hace posible que las cosas sucedan, y nos brinda la fé y la fortaleza para alcanzar nuestras metas y objetivos.

A mi asesor Benjamín Barriga, por la exigencia y las sugerencias realizadas durante este proceso; a mi Co-Asesor Alan Calderón, por el apoyo brindado y el entusiasmo que le puso para que yo continuara adelante con este trabajo de tesis, al profesor Julio Tafur por su amabilidad y diligencia en el programa de la maestría, al profesor Jorge Alencastre por los valiosos aportes en el diseño de la máquina, a Dante Elias y Renato Mio por sus conocimientos en Biomecatronica, a Miguel Cataño por Visión por computadora y Robotica, a Pablo Cardenas por hacer tan simple el control con sus robots, me encantaría replicar ello en la UNSAAC; a mis amigos Alan Ccarita por la diligencia administrativa con que manejó el proyecto, y que junto a Dustin, que en paz descansa, me ayudaron a entender mecánica. Marcio, Raul, Rodrigo y Jarni, fue genial conocerlos estimados amigos.

Finalmente, a cada uno de los profesores del programa de la maestría en Ingeniería Mecatrónica, les doy mi eterno agradecimiento, pues son personas que además de tener un alto conocimiento y experiencia en sus áreas, nos inspiran a ser mejores personas; **Muchas Gracias** por sus conocimientos brindados, aprendí muchísimo de Uds., que Dios los siga bendiciendo.

Esta investigación o proyecto ha sido financiado por el Proyecto Concytec – Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia [Contrato N° 61-2018-FONDECYT-BM-IADT-MU], con el objetivo de: “Diseño y fabricación de una mini lavadora para fibra de vicuña de 5kg/h”.

ÍNDICE

RESUMEN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	1
1.1 Problemática y beneficiarios.....	1
1.2 Características de la fibra de Vicuña [13].....	2
1.2.1 Temperatura de lavado de la fibra de vicuña	4
1.3 Antecedentes de generación de ultrasonido y aplicaciones en la limpieza de lana	4
1.3.1 Loyola et al., 2014 [2].....	4
1.3.2 Lavarello et al., 2013 [11].....	5
1.3.3 Adapting ultrasonic assisted wool scouring for industrial application [12]	5
1.4 Marco teórico y herramientas de desarrollo para el diseño de la maquina.....	7
1.4.1 El fenómeno de la cavitación	7
1.4.2 Limpieza Ultrasónica	8
1.4.3 Software TIA Portal	9
1.4.4 Software LogoSoft Confort.....	10
1.4.5 PLC Logo8 y módulos de ampliación	10
1.4.6 HMI.....	12
1.4.7 Transductores de ultrasonido	13
1.4.7.1. Transductor de ultrasonido para aplicaciones de limpieza.....	13
1.4.7.2. Configuración de Transductores de Ultrasonido	15
CAPÍTULO 2 DISEÑO CONCEPTUAL	16
2.1 Requerimientos del sistema	16
2.1.1 Entradas	16
2.1.2 Salidas	16
2.2 Funciones parciales o procesos técnicos	16
2.3 Estructura de funciones por dominio	20
2.3.1 Dominio Mecánico	20
2.3.2 Dominio Electrónico.....	20
2.3.3 Dominio de Control.....	21
2.3.4 Dominio de Software	21
2.4 Estructura de funciones integradas	21
2.5 Lista de exigencias.....	22
2.6 Requerimientos de los sensores y actuadores	24
2.7 Conceptos de Solución.....	24
2.8 Evaluación de los conceptos de solución	26

CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MINILAVADORA DE FIBRA DE VICUÑA 27

3.1	Descripción del Sistema Mecánico.....	27
3.1.1	Descripción del Funcionamiento de la máquina	27
3.1.2	Lógica de Control de la mini lavadora de fibra de vicuña.....	27
3.2	Diseño del Sistema de Control	28
3.2.1	Esquema general de conexiones	28
3.2.2	Diagrama eléctrico del sistema de control de la minilavadora de fibra de vicuña	30
3.2.3	Control e Instalación de los actuadores de ultrasonido	33
3.2.4	Control de motores de alimentación, lavado-extracción, y exprimido	40
3.2.5	Control de temperatura	44
3.2.5.1.	Circuito de Detección de cruce por cero	45
3.2.5.2.	Circuito de control por ángulo de disparo de la resistencia de calor	46
3.2.6	Circuito de control de las electroválvulas de alimentación y desfogue de líquido	48
3.2.7	Diseño de Algoritmos y programación del Sistema de Control	50
3.2.7.1.	Programación del HMI	59
CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACION Y PRUEBAS.....		64
4.1	Implementación del Sistema eléctrico.....	64
4.2	Pinout del tablero de control	65
4.3	Simulaciones realizadas con los módulos de ultrasonido	65
4.4	Puesta en marcha del tablero de control.....	66
CAPÍTULO 5 ESTIMACION DE COSTOS.....		70
5.1	Estimación de costos.....	70
CONCLUSIONES		71
RECOMENDACIONES.....		72
BIBLIOGRAFÍA.....		73
ANEXOS.....		75
ANEXO A: DIAGRAMA ELECTRICO.....		76
ANEXO B: CODIGO DE PROGRAMA DEL PLC LOGO8.....		77
ANEXO C: CONFIGURACION DE VARIABLES DEL HMI		78
ANEXO D: PINOUT DEL TABLERO ELECTRICO.....		83
ANEXO E: PROGRAMA DE CONTROLADOR POR ANGULO DE DISPARO.....		84

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Tipos de Transductores de ultrasonido</i>	13
<i>Tabla 2. Lista de exigencias</i>	23
<i>Tabla 3. Evaluación de los conceptos de solución</i>	26
<i>Tabla 4. Selección de transductores sumergibles de ultrasonido</i>	37
<i>Tabla 5. Lógica de control de las válvulas de llenado y vaciado del líquido de la tina</i>	48
<i>Tabla 6. Variables compartidas en red del HMI y PLC Logo8</i>	63
<i>Tabla 7. Lista de Componentes e insumos</i>	70



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Agrupación de vicuñas antes del proceso de trasquilado [5]</i>	2
<i>Figura 2. Trásquilado de fibra de vicuña. [3]</i>	2
<i>Figura 3. Planos de una lavadora por ultrasonido [12]</i>	6
<i>Figura 4. El software TIA Portal Programado un HMI</i>	10
<i>Figura 5. Software LogoSoft v8.3</i>	10
<i>Figura 6. Fuente de alimentación de 24V/2A y PLC Logo8</i>	11
<i>Figura 7. Módulo de ampliación Entradas/Salidas digitales</i>	11
<i>Figura 8. Módulo de ampliación, entrada analógica</i>	12
<i>Figura 9. Módulo de ampliación, salida analógica</i>	12
<i>Figura 10. HMI Simatic KTP400 basic</i>	12
<i>Figura 11. Modelos de transductores de ultrasonido</i>	14
<i>Figura 12. Configuración de conexión de transductores de ultrasonido</i>	15
<i>Figura 13. Secuencia del Proceso de control de la máquina</i>	16
<i>Figura 14. Función de encendido de la máquina</i>	17
<i>Figura 15. Función de inicialización de la máquina</i>	17
<i>Figura 16. Función de control de la temperatura de tina de lavado de la máquina</i>	18
<i>Figura 17. Función de control del alimentador de fibra de vicuña a la máquina</i>	18
<i>Figura 18. Función de control de limpieza por ultrasonido</i>	19
<i>Figura 19. Función de finalización del proceso y parada de la máquina</i>	20
<i>Figura 20. Diagrama de funciones integradas</i>	22
<i>Figura 21. Soluciones evaluadas para el desarrollo del sistema de control de la máquina</i>	25
<i>Figura 22. Visualización en 3D de la mini lavadora de fibra de vicuña</i>	27
<i>Figura 23. Diagrama general de conexiones del sistema eléctrico de la mini lavadora</i>	29
<i>Figura 24. Diagrama Eléctrico de la mini lavadora de fibra de vicuña</i>	30
<i>Figura 25. Diagrama de conexión de entrada analógica 0/4-20mA y 0-10V</i>	31
<i>Figura 26. Diagrama de conexión de los transmisores de Temperatura, PH y pulsadores RUN y STOP</i>	31
<i>Figura 27. Diagrama del sensor de Temperatura Pt100 con Transmisor integrado</i>	32
<i>Figura 28. Conexión Circuital del Sensor de temperatura al transmisor de corriente</i>	32
<i>Figura 29. Parte superior de los actuadores de ultrasonido</i>	33
<i>Figura 30. Parte lateral de los actuadores de ultrasonido</i>	33

<i>Figura 31. Instalación de los actuadores de ultrasonido sobre la base de la tina de lavado</i>	<i>34</i>
<i>Figura 32. Instalación eléctrica de los actuadores de ultrasonido.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 33. Circuito de control del generador ultrasónico</i>	<i>35</i>
<i>Figura 34. Diagrama de conexión de las entradas remotas de los controladores de Ultrasonido</i>	<i>35</i>
<i>Figura 35. Área de instalación de los transductores sumergibles de ultrasonido</i>	<i>36</i>
<i>Figura 36. Tipos de montaje según el fabricante.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 37. Transductor sumergible de ultrasonido de 300W y 2400W</i>	<i>37</i>
<i>Figura 38. Configuración de montaje de los Transductores sumergibles de ultrasonido en la mini lavadora de fibra de vicuña.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 39. Generador de frecuencia para transductor ultrasónico de 68KHz</i>	<i>39</i>
<i>Figura 40. Parte interna del controlador de actuadores de ultrasonido</i>	<i>39</i>
<i>Figura 41. Bornera de Configuración del generador Beijing Ultrasonic</i>	<i>40</i>
<i>Figura 42. Conector remoto y salida hacia los transductores de ultrasonido del generador Beijing Ultrasonic</i>	<i>40</i>
<i>Figura 43. Placa del motor Siemens LMH-1606.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 44. Diagrama eléctrico para el control de los sistemas de alimentación, lavado y exprimido</i>	<i>42</i>
<i>Figura 45. Diagrama eléctrico del circuito de fuerza de los motores M1, M2 y M3.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 46. Diagrama de control ON/OFF con Hysteresis</i>	<i>44</i>
<i>Figura 47. Circuito de detección de cruce por zero utilizando el CI H11AA1</i>	<i>45</i>
<i>Figura 48. Formas de onda del circuito de detección de cruce por cero.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 49. Circuito de disparo por control de ángulo utilizando el TRIAC BTA16</i>	<i>46</i>
<i>Figura 50. Circuito de control de potencia de la resistencia generadora de calor</i>	<i>46</i>
<i>Figura 51. Diagrama eléctrico de conexión del Controlador por disparo de ángulo</i>	<i>47</i>
<i>Figura 52. Lógica de control de las válvulas de llenado y vaciado de líquido de la tina de lavado</i>	<i>48</i>
<i>Figura 53. Diagrama de conexiones de las electro-válvulas y los sensores de nivel capacitivos</i>	<i>49</i>
<i>Figura 54. Diagrama de conexión de las fuentes de alimentación de 24V</i>	<i>50</i>
<i>Figura 55. Diagrama de flujo del control de la mini lavadora de fibra de vicuña.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 56. Diagrama de flujo de control de potencia por ángulo de disparo</i>	<i>52</i>
<i>Figura 57. Proceso de control de temperatura de la tina de lavado</i>	<i>53</i>
<i>Figura 58. Configuración del conmutador analógico de valor umbral</i>	<i>54</i>

<i>Figura 59. Conmutador analógico de valor umbral activando al motor M2 y controladores de ultrasonido.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 60. Normalización del valor analógico</i>	<i>55</i>
<i>Figura 61. Configuración del bloque Amplificador analógico e Instrucción aritmética, para la normalización del valor analógico de entrada del transmisor de temperatura</i>	<i>56</i>
<i>Figura 62. Adquisición de temperatura y control de la potencia de la resistencia.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 63. Configuración de la función Rampa analógica</i>	<i>57</i>
<i>Figura 64. Control de marcha / parada y control de Válvulas de llenado y vaciado</i>	<i>58</i>
<i>Figura 65. Control de motores de alimentación y exprimido.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 66. Programa de control de la mini lavadora de fibra de vicuña, basada en el PLC Logo8 de Siemens.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 67. Portada de inicio del software TIA Portal de Siemens.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 68. Configuración en red del HMI KTP400</i>	<i>60</i>
<i>Figura 69. Configuración en red del PLC Logo8</i>	<i>60</i>
<i>Figura 70. Conexión física en red mediante un router/modem TPLink del HMI KTP400 y el PLC Logo8.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 71. Imagen raíz o pantalla de presentación del producto</i>	<i>61</i>
<i>Figura 72. Interface de control de la mini lavadora de fibra de vicuña</i>	<i>62</i>
<i>Figura 73. Créditos.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 74. Mapa de variables del HMI.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 75. Tablero Eléctrico del sistema de control de la mini lavadora de fibra de vicuña.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 76. Parte delantera del Tablero Eléctrico del sistema de control de la mini lavadora de fibra de vicuña</i>	<i>64</i>
<i>Figura 77. Pinout de las borneras del tablero eléctrico</i>	<i>65</i>
<i>Figura 78. Prueba de funcionamiento de los transductores de ultrasonido</i>	<i>66</i>
<i>Figura 79. Programa para simular una rampa de 4 a 20 mA</i>	<i>66</i>
<i>Figura 80. Prueba de circuito de control de disparo por ángulo y el circuito de control antes de la implementación en el tablero de control</i>	<i>67</i>
<i>Figura 81. Prueba de variación de potencia aplicada a un foco de 100W.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 82. Prueba de visualización de la pantalla de presentación de la máquina sobre el HMI.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 83. Pantalla de control principal de la mini lavadora de fibra de vicuña</i>	<i>69</i>
<i>Figura 84. Ampliación de la pantalla de control principal de la mini lavadora de fibra de vicuña.....</i>	<i>69</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

I	: Corriente [A]
T	: Periodo [s]
V	: Voltaje [v]
α	: Angulo de disparo [°]
T	: Temperatura del sensor Pt100
E	: Eficiencia [%]
Va	: Velocidad de arrastre [m/s]
A	: Área
f	: Frecuencia de excitación del ultrasonido (Hz)
P	: Potencia [W]



INTRODUCCIÓN

Actualmente el proceso de limpieza de la fibra de vicuña, es un proceso que carece de tecnología automatizada, aun sabiendo que la fibra de vicuña tiene una cotización relevante a nivel mundial.

Los productores de fibra de vicuña no cuentan con tecnología como esta para realizar el proceso de descordado y lavado de la fibra de vicuña, siendo una fibra muy fina se tiene que tener un especial cuidado en su tratamiento y limpieza para mantener la calidad estandarizada de los fabricantes de prendas de vestir.

Sin duda, con esta tecnología se logrará innovar y reducir los tiempos de procesamiento de la fibra de vicuña para su comercialización, así como elevar su costo, por entregar un producto pre procesado, listo para el hilado y fabricación de prendas de vestir.

La mini lavadora de fibra de vicuña, es una maquina desarrollada con componentes robustos e industriales que funciona a más de 4000 msnm, para que no tenga inconvenientes de funcionamiento por la altura; asimismo, es de fácil manejo debido a que cuenta con un HMI que permite la interacción sencilla para el usuario final, a la vez que no requiere de un mantenimiento constante. Debido a su modularidad, la mayoría de sus piezas pueden ser reemplazadas e intercambiadas rápidamente en caso se dañen o pasen el periodo de garantía.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Problemática y beneficiarios

"Las vicuñas tienen unos ojos negros inmensos hermosísimos y muy expresivos", le cuenta a BBC Mundo Bibiana Vilá, la bióloga en cuestión, quien años después de aquel primer deslumbramiento acaba de recibir el premio internacional Midori para la diversidad biológica por su aporte a la conservación de esta especie.

Las vicuñas son una especie de camélidos que se encuentran en América del Sur, especialmente en los países andinos como Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Son apreciadas por su lana suave y de alta calidad, lo que las convierte en objetivos de cazadores furtivos.

Afortunadamente, en muchos de estos países se han implementado medidas de protección para las vicuñas, incluyendo la prohibición de su caza y la creación de áreas protegidas donde pueden habitar y reproducirse. Además, se han establecido programas de conservación y se promueve el comercio legal de la lana de vicuña, que se obtiene mediante la esquila controlada de los animales.

La finura del pelo de vicuña es notablemente alta, con una escala de micras que oscila entre los 12 y los 14 micrómetros. Esta característica lo convierte en uno de los pelos más suaves y delicados que existen. Además, su pelo tiene una estructura hueca que lo hace muy liviano y térmicamente eficiente. En cuanto al precio del pelo de vicuña, es extremadamente alto debido a su rareza y a la dificultad de obtenerlo. La caza y comercialización de vicuñas están estrictamente reguladas debido a su estatus de especie protegida, ya que estuvieron al borde de la extinción en el pasado.

Actualmente, la recolección de pelo de vicuña se realiza a través de un proceso llamado "chaccu" en el que se captura a los animales, se esquila su pelo y luego se les devuelve a su hábitat natural. Esto garantiza su conservación y sostenibilidad. Debido a la limitada disponibilidad de pelo de vicuña, su precio es considerablemente alto y puede variar según el país y la calidad del pelo, pero en general, se considera una de las fibras más costosas del mundo.

En resumen, el pelo de vicuña es extremadamente fino y lujoso, y su precio es alto debido a su rareza y a las regulaciones estrictas que existen en torno a su obtención, puede costar más de \$500 dolares americanos el kilogramo.



Figura 1. Agrupación de vicuñas antes del proceso de trasquilado [5]



Figura 2. Trasquilado de fibra de vicuña. [3]

Entre los beneficiarios de este desarrollo tecnológico está, la Asociación de comunidades campesinas criadoras de vicuñas de la región Cusco ACRIVIRC

1.2 Características de la fibra de Vicuña [13]

La fibra de vicuña es la más fina, pero también tiene fibras gruesas. Ambas tienen características que las hacen únicas, siendo estas las siguientes:

Propiedades físicas. - La fibra que tiene la vicuña, son fibras finas. El 10% de todos ellos son gruesos.

Propiedades microscópicas. - La fibra está compuesta por escamas cuyos bordes son suaves y forman un mosaico irregular medulado de tipo coronal. Las células cuticulares que forman las escamas son muy pequeñas y apenas visibles teniendo poco poder filtrante. La fibra de vicuña generalmente no tiene médula, pero aparece en fibras con un grosor de 30 micras o más.

Finura. - La fibra de vicuña tiene diferentes grosores que van desde 6 hasta 35 micras. El promedio general es de 13 micras en las vicuñas de nuestro país, pero también existen pelos gruesos, llamados cerdas que tienen un grosor de 30, 50 o más micras de diámetro. La mayoría de los autores admiten un incremento del diámetro de la fibra en condiciones alimenticias óptimas, mientras hay una reducción cuando la nutrición es deficiente. De igual forma los estados carenciales, enfermedades y parasitismo pueden afectar desfavorablemente a la finura de este producto.

Tacto. - La fibra de vicuña es sumamente fina para el tacto.

Lustre o brillo. - Las fibras de camélidos sudamericanos están catalogadas como brillantes y/o mates. Las primeras se pueden notar en alpacas, suris y llamas chaku mientras que las segundas se pueden observar en la fibra de vicuña.

Color. - Las vicuñas tienen diferentes tonalidades de color café claro. Pero la denominación que se impone es el de color “canela”

Longitud. - La velocidad del crecimiento de la fibra obedece a un carácter netamente genético, que no se da de manera ilimitada, sino hasta un límite fisiológico, influido probablemente por un aporte nutricional. Las fibras finas de la vicuña tienen una longitud de 2 a 3 centímetros como promedio. Existe una relación fenotípica entre longitud y finura de la fibra siendo ésta de $r = 0.87$. De aquí se puede afirmar que a mayor longitud mayor diámetro. Sin embargo, existen numerosos estudios en los cuales demuestran que no hay correlación entre longitud y diámetro en la fibra de vicuña.

Resistencia. - La resistencia que tiene la fibra de vicuña al estirarse, se encuentra entre los 15,000 y 17,000 lbs/m² lo que constituye una cualidad apreciada por la industria. Esta fibra según su resistencia soporta adecuadamente los procesos de lavado, secado, cardado, peinado e hilado.

Peso específico. - La fibra de vicuña tiene 1.31g/cm³ la cual la posesiona como una de las más livianas permitiendo la fabricación de telas suaves, elásticas y térmicas.

Higroscopia. - Esta propiedad consiste en la capacidad de la fibra en absorber agua y retenerla alcanzando a veces un notable incremento de peso, por tanto, se recomienda tener en consideración este hecho para todas las operaciones de rendimiento, ya que pueden haber marcadas variaciones de peso por el agua retenida.

Rizo. - Todas las fibras de vicuña presentan rizo, pero casi en su totalidad este es desordenado e incluso pasa por desapercibido. Se ha podido apreciar en algunos ejemplares que el rizo es uniforme en todo el vellón, especialmente la fibra proveniente de la parte dorsal del animal cuya onda es muy pareja. Según apreciaciones de ingenieros

textiles, esta fibra sería la ideal para confeccionar telas mucho más finas y resistentes. El rizo que se forma en la fibra, es consecuencia de diferentes velocidades de crecimiento en la corteza a partir de un folículo estático.

Resistencia a la compresión. - La compresibilidad se mide colocando la fibra en un cilindro y presionándola con un pistón. El volumen que adquiere bajo esta presión se relaciona con la resistencia a la compresión. Aunque recién se está experimentando con esta medida, se sabe que el resultado tiene que ver con el tipo y cantidad de ondulaciones por pulgada, lo cual da una indicación de la suavidad, resistencia y esponjosidad de la fibra. Se mide en kPa (Kilos - Pascales) y los valores menores a 4 kPa indican poca capacidad de recuperación, por lo tanto, aquellas fibras no son recomendables para su uso.

Rendimiento al lavado. - Es el peso seco de la fibra de vicuña y la presencia mínima de materia vegetal obtenida después del proceso de lavado, enjuagado y secado expresado en porcentaje de acuerdo a su peso seco inicial de fibra bruta recién esquilada. El rendimiento al lavado es del 87% considerándosele una fibra limpia ya que, a diferencia de la lana del ovino, esta tiene un rendimiento del 50 al 65%.

Fuente: Cajahuaman Vasquez Anibal "Análisis de la crianza de vicuñas en cautiverio en el parque conservacionista de wislamachay: comunidad campesina san antonio de rancas - pasco"

1.2.1 Temperatura de lavado de la fibra de vicuña

La fibra de vicuña es similar a la fibra de otros camélidos como, por ejemplo, la alpaca, es por ello que diferentes autores indican que la temperatura de lavado de la fibra de alpaca es de aproximadamente 40 °C, tal como lo indica Requena y Zaravia (2019) en las siguientes líneas.

Dosis de detergente: (Helpasol/80 ml/T2/ 80 ml/T3), (Sequion Al /60 ml/T2/ 60 ml/T3), pH: 8.5 - 9, tiempo de sumergido de fibra de 18 minutos con una temperatura de 39 grados centígrados (°C); contenido por cada bandeja de 70 litros de agua continúa.

Fuente: Requena Jaime, Zaravia Wilmer. "Rendimiento al lavado de la fibra clasificada de alpaca huacaya" (Vicugna pacos)

1.3 Antecedentes de generación de ultrasonido y aplicaciones en la limpieza de lana.

1.3.1 Loyola et al., 2014 [2]

Loyola Francisco ha desarrollado un excitador sintonizado de ultrasonido; para dicho fin, ha implementado un generador de una señal eléctrica adecuada para aplicarla a un transductor de ultrasonido que básicamente consiste en trenes de pulsos de alto voltaje que son enviados cada cierto periodo. Los parámetros de esta onda, tales como duración

del pulso, número de pulsos por tren y frecuencia de repetición del tren de pulsos, deben ser configurados por el usuario. Con este trabajo se busca promover la investigación sobre excitadores de ultrasonido de mayor precisión y resolución, lo que implicará una contribución en el desarrollo de equipos de ultrasonido para diversas aplicaciones, cada vez más necesarias e importantes en la medicina e industria. Para alcanzar este objetivo, se ha hecho uso de un sintetizador digital de frecuencias, conocido como DDS, para poder generar pulsos de voltaje de hasta 200 nanosegundos. Para controlar la frecuencia de repetición se utilizó un microcontrolador Atmel de 8 bits y para el control del número de pulsos por tren, un sistema compuesto por compuertas lógicas de alta velocidad de la familia 74HCT. Finalmente, para amplificar la señal lógica generada, se usó un arreglo de Power MOSFET.

1.3.2 Lavarello et al., 2013 [11]

El trabajo de tesis de Lavarello, Adquisidor de datos ultrasónicos de baja y mediana frecuencia, está enfocado a diseñar, construir y verificar el funcionamiento de un circuito receptor de señales de ultrasonido. Básicamente, busca incrementar las potencialidades del equipo desarrollado por Loyola, como son la frecuencia de muestreo, la resolución de bits y la capacidad de almacenamiento del mismo. También se verifica el ancho de banda de la señal de entrada del circuito.

1.3.3 Adapting ultrasonic assisted wool scouring for industrial application [12]

Este estudio ha demostrado que la modificación de la línea tradicional de lavado de lana mediante la introducción de un dispositivo ultrasónico podría ser una alternativa. Se actualizó con dos paneles ultrasónicos que trabajan a 80 kHz en el baño 2. El lavado se realizó en tres modos: modo convencional sin el rastrillo de transporte, modo ultrasónico sin el rastrillo de transporte y modo convencional con el rastrillo de transporte. Las muestras de fibra después del lavado se midieron para determinar el índice de color y el contenido residual de grasa. Se descubrió que el lavado ultrasónico mejora la eliminación de grasa de la fibra de lana. Se propusieron modificaciones para el diseño de una línea de fregado industrial que incluye la adición de rodillos de transporte de fibra y de inmersión y la cantidad de baños para la instalación.

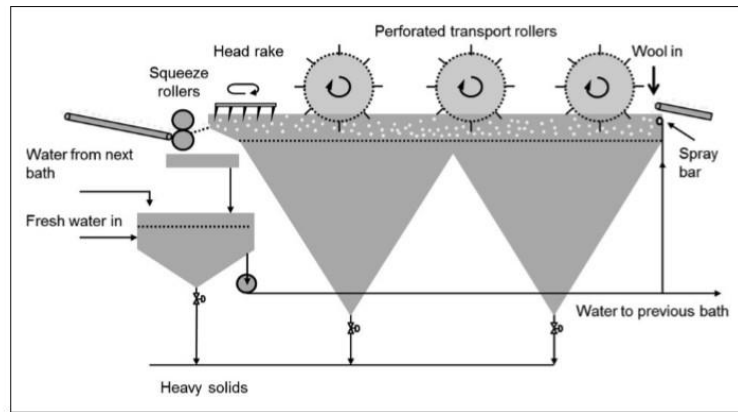


Figure 10. Hopper bath scouring line with perforated fiber dunking and transport rollers.

Li et al.

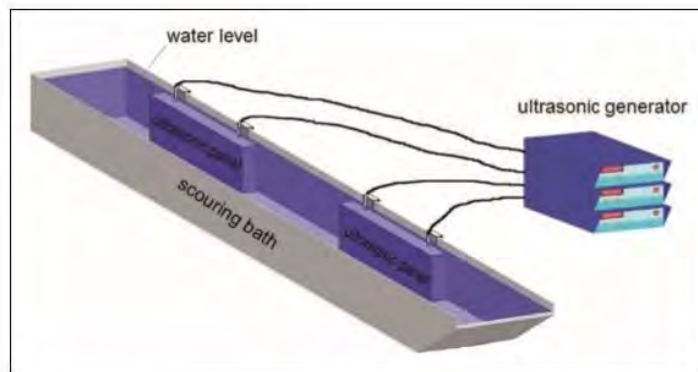


Figure 5. Schematic diagram of the ultrasonic setup.

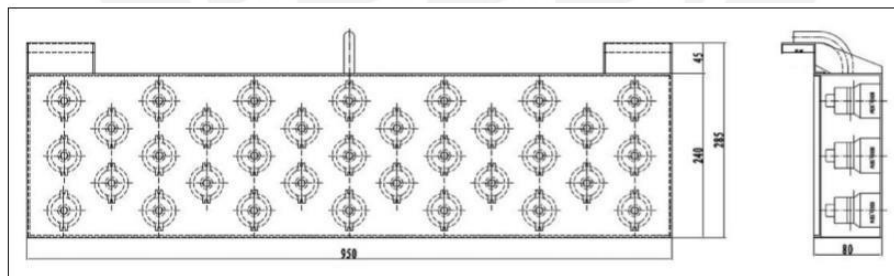


Figure 3. Sketch of engineering drawing of the ultrasonic panel with transducers.

Figura 3. Planos de una lavadora por ultrasonido [12]

Este trabajo fue apoyado por el Consejo de Investigación de Australia y por Shandong Ruyi Textile Co. Ltd, China.

1.4 Marco teórico y herramientas de desarrollo para el diseño de la maquina

1.4.1 El fenómeno de la cavitación

La cavitación por ultrasonido se utiliza comúnmente para la limpieza de diversos objetos, incluyendo prendas de fibra de vicuña. Sin embargo, es importante destacar que la limpieza por ultrasonido puede ser un proceso delicado y requiere precaución al tratar materiales sensibles como la fibra de vicuña, que es conocida por su suavidad y delicadeza.

La limpieza por ultrasonido utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para generar burbujas microscópicas en un líquido de limpieza. Estas burbujas colapsan rápidamente debido a la presión generada por las ondas sonoras, creando un fenómeno de cavitación que ayuda a eliminar la suciedad y los contaminantes de la superficie del objeto sumergido.

Cuando se trata de la limpieza de prendas de fibra de vicuña, es fundamental seguir las recomendaciones específicas del fabricante y tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Selección del líquido de limpieza: Utiliza un líquido de limpieza suave y específico para prendas delicadas. Es importante evitar el uso de productos agresivos o abrasivos que puedan dañar las fibras.
- Temperatura y tiempo: Asegúrate de ajustar la temperatura y el tiempo de limpieza de acuerdo con las indicaciones específicas para la fibra de vicuña. Las altas temperaturas y tiempos prolongados pueden afectar la calidad y suavidad de la fibra.
- Prueba en una pequeña área: Antes de someter la prenda completa a la limpieza por ultrasonido, realiza una prueba en una pequeña área discreta para verificar que no se produzcan daños o cambios en la apariencia de la fibra.
- Manipulación cuidadosa: Durante el proceso de limpieza, manipula con cuidado las prendas de fibra de vicuña para evitar el enredo o la fricción excesiva que pueda dañar las fibras.
- Secado adecuado: Después de la limpieza, asegúrate de secar adecuadamente las prendas de fibra de vicuña, siguiendo las instrucciones específicas. Evita la exposición directa al sol o fuentes de calor excesivo, ya que pueden causar encogimiento o deformación de la fibra.

Recuerda que, debido a la sensibilidad de la fibra de vicuña, es recomendable buscar el asesoramiento de profesionales especializados en la limpieza de prendas delicadas. Ellos podrán brindarte recomendaciones específicas y garantizar un proceso de limpieza seguro y efectivo para tus prendas de fibra de vicuña.

1.4.2 Limpieza Ultrasónica

La limpieza por ultrasonido es un proceso de limpieza que utiliza ondas de sonido de alta frecuencia para eliminar la suciedad, la grasa y otros contaminantes de objetos y superficies. Funciona mediante la generación de ondas sonoras de alta frecuencia que crean pequeñas burbujas de vapor en un líquido de limpieza, generalmente agua, que se conocen como cavidades de cavitación. Estas burbujas colapsan violentamente cerca de la superficie del objeto a limpiar, liberando energía que ayuda a desprender y eliminar la suciedad y las partículas adheridas.

El proceso de limpieza por ultrasonido es ampliamente utilizado en diversas industrias, como la industria automotriz, la joyería, la odontología, la electrónica y la industria médica. Algunas de las ventajas de este método de limpieza incluyen:

- **Eficiencia:** El ultrasonido puede alcanzar áreas difíciles de limpiar, como pequeñas hendiduras, orificios o superficies rugosas, asegurando una limpieza completa.
- **No daña los objetos:** A diferencia de otros métodos de limpieza abrasivos o químicos, el ultrasonido es un proceso suave que no daña los objetos limpiados. Es especialmente beneficioso para la limpieza de objetos delicados o sensibles.
- **Ahorro de tiempo:** La acción rápida y eficiente del ultrasonido permite limpiar varios objetos al mismo tiempo, lo que reduce significativamente el tiempo necesario para completar el proceso de limpieza.
- **Eliminación de contaminantes difíciles:** El ultrasonido es efectivo para eliminar contaminantes persistentes, como aceites, grasas, óxidos y otros depósitos difíciles de eliminar con métodos convencionales.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la limpieza por ultrasonido puede no ser adecuada para todos los objetos o materiales. Algunos materiales sensibles, como ciertos metales blandos, plásticos o materiales porosos, pueden dañarse o deformarse durante el proceso. Por lo tanto, es recomendable investigar y seguir las pautas de limpieza específicas para cada tipo de objeto o material antes de utilizar la limpieza por ultrasonido.

Un limpiador ultrasónico es un dispositivo utilizado para realizar la limpieza por ultrasonido, el mismo que consiste en un tanque de limpieza que contiene un líquido de limpieza, generalmente agua, y utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para generar cavitación y eliminar la suciedad y los contaminantes de los objetos sumergidos en el líquido.

El funcionamiento básico de un limpiador ultrasónico es el siguiente:

- **Llenado del tanque:** Se llena el tanque de limpieza con el líquido de limpieza recomendado, generalmente agua. En algunos casos, se puede agregar un detergente o solvente específico para mejorar la eficiencia de la limpieza.
- **Colocación de los objetos a limpiar:** Los objetos que se desean limpiar se colocan en el tanque de limpieza, sumergidos completamente en el líquido.
- **Activación del limpiador ultrasónico:** Se enciende el limpiador ultrasónico, lo que activa los transductores ultrasónicos que generan las ondas sonoras de alta frecuencia. Estas ondas crean cavidades de cavitación en el líquido, que implosionan cerca de la superficie de los objetos y eliminan la suciedad y los contaminantes adheridos.
- **Tiempo de limpieza:** Se establece un tiempo de limpieza determinado, que puede variar según la intensidad de la suciedad y el tipo de objeto a limpiar. Durante este tiempo, las ondas ultrasónicas actúan continuamente sobre los objetos para desprender la suciedad.
- **Enjuague y secado:** Una vez finalizado el tiempo de limpieza, se retiran los objetos del tanque y se enjuagan con agua limpia para eliminar cualquier residuo del líquido de limpieza. Luego, se secan adecuadamente antes de su uso o almacenamiento.

1.4.3 Software TIA Portal

El **TIA Portal** (Totally Integrated Automation **Portal**) permite un acceso completo a la automatización digitalizada, desde la planeación digital e ingeniería integrada hasta una operación transparente. (siemens.com)

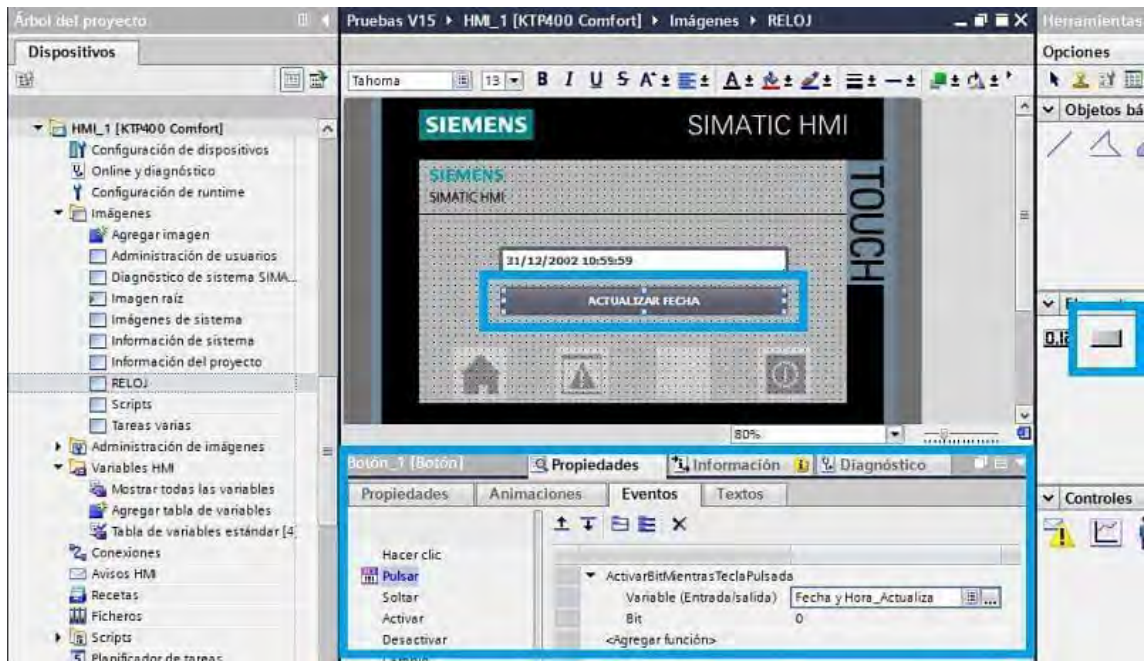


Figura 4. El software TIA Portal Programado un HMI. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

1.4.4 Software LogoSoft Confort

Este software es ideal para el uso de monitoreo de varias variables en forma amigable, su fácil manejo y uso en programación de alto nivel lo hace ideal para realizar aplicaciones en tiempos cortos.

El software soporta pequeños proyectos de automatización con una configuración y operación simples e intuitivas, desde el software de ingeniería LOGO Soft Comfort, al LOGO Access Tool y también LOGO8, Web Editor para el servidor web integrado en LOGO. (siemens.com)



Figura 5. Software LogoSoft v8.3. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

1.4.5 PLC Logo8 y módulos de ampliación

El PLC Logo8 es el PLC más básico que posee Siemens, sin embargo, este PLC posee funcionalidades avanzadas que permiten desarrollar sistemas de control industriales, la versión de 24V, está provisto de 8 entradas digitales, de las cuales 4 entradas pueden

configurarse como entradas analógicas de 0-10V, asimismo, posee 4 salidas a relé de hasta 220V/10A. Asimismo puede conectarse en Red con otros dispositivos (PLC, HMI, TDAs, etc.) mediante el conector RJ45, a la vez que puede habilitarse la función Web Server para aplicaciones IoT.



Figura 6. Fuente de alimentación de 24V/2A y PLC Logo8. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

El módulo de ampliación 6ED1055-1NB10-0BA2 permite ampliar las Entradas/salidas digitales a 8 DI y 8 DO.



Figura 7. Módulo de ampliación Entradas/Salidas digitales. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

El módulo de ampliación de entrada analógica 6ED1055-1MA00-0BA2, posee 2 entradas analógicas de 4-20mA o de 0-20mA/0-10V.



Figura 8. Módulo de ampliación, entrada analógica. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

El módulo de ampliación de salida analógica 6ED1055-1MM00-0BA2 tiene 2 salidas analógicas de 0/4-20mA o 0-10V.



Figura 9. Módulo de ampliación, salida analógica. (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

1.4.6 HMI

El HMI Simatic KTP400 basic es un display TFT touch de 4 pulgadas y que posee una interface Profinet, que permite interconectarse en una red industrial



Figura 10. HMI Simatic KTP400 basic (Fuente: <https://new.siemens.com/>)

1.4.7 Transductores de ultrasonido

1.4.7.1. Transductor de ultrasonido para aplicaciones de limpieza

A continuación, se presenta la diversidad de transductores de ultrasonido que existen en el mercado para aplicaciones de limpieza.



Ultrasonic Cleaning Transducers

We sell high power [Ultrasonic Cleaning Transducers](#) (Ultrasonic Piezo Transducer), High efficiency and amplitude, The ultrasonic efficiency of conversion between electricity and sound is above 95%.

Type	Static Capacity (pF)	Resonance Impedance (Ω)	Length (mm)	Frequency (KHz)	Input Power (W)	Quotation (USD)
BJC-20100T-68HN PZT-8	5100	10-20	95	20	100	10
BJC-28120T-68HS PZT-4	7500	10-20	67	28	120	11
BJC-28100T-68HN PZT-8	5100	10-20	66	28	100	10
BJC-28100T-68HS PZT-4	6700	10-20	66	28	100	10
BJC-25100T-68HS PZT-4	6600	10-20	77	25	100	10
BJC-2560T-59HS PZT-4	5400	10-20	77	25	60	7
BJC-2860T-59HS PZT-8	3800	10-20	68	28	60	7
BJC-2850T-45SS PZT-4	4100	10-20	82	28	50	7
BJC-30100T-68H PZT-8	5200	10-20	61	30	100	13.5
BJC-3360T-48HS PZT-8	3800	10-20	58	33	60	8.5
BJC-4060T-49HN PZT-8	3800	10-20	55	40	60	7
BJC-4050T-45HS PZT-4	4100	10-20	54	40	50	7
BJC-4060T-48SS PZT-4	5400	10-20	56	40	60	7
BJC-5435T-38HN PZT-4	3200	10-20	36	54	35	11
BJC-6860T-49SS	3800	10-20	80	68	60	11

Tabla 1: Tipos de Transductores de ultrasonido

Ultrasonic Transducer

SHOWING ALL 20 RESULTS

DEFAULT SORTING

20KHz 100W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-8) \$10.00	25KHz/40KHz 60W Double Frequency Ultrasonic Transducer (PZT-8) \$18.50	25KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$7.00	25KHz 100W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$10.00
28KHz 50W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$7.00	28KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$7.00	28KHz 100W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$10.00	28KHz 100W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer \$10.00
28KHz 120W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer \$11.00	30KHz 100W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-8) \$13.50	33KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer \$8.50	40KHz 50W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$7.00
40KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$7.00	40KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-8) \$7.00	54KHz 35W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer \$11.00	60KHz 30W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$16.00
68KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$11.00	80KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$11.00	120KHz 60W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer (PZT-4) \$15.00	135KHz 50W Piezoelectric Ultrasonic Cleaning Transducer \$14.00

Figura 11. Modelos de transductores de ultrasonido (Beijing Ultrasonic)

1.4.7.2. Configuración de Transductores de Ultrasonido

Generalmente para realizar lavadoras de ultrasonido se conectan en paralelo varios Transductores de Ultrasonido.



Figura 12. Configuración de conexión de transductores de ultrasonido. (Fuente: Beijing Ultrasonic)

CAPÍTULO 2 DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se expone las consideraciones que se han tomado en cuenta para el diseño y la fabricación del sistema de control del equipo, así como una descripción detallada de sus características y funciones. Se ha creído conveniente hacer esta presentación en base al Método de Diseño [BARRIGA, 1985].

2.1 Requerimientos del sistema

El sistema de control a desarrollar debe de tener las siguientes solicitudes del proceso:



Figura 13. Secuencia del Proceso de control de la máquina.

Una vez encendida la máquina de limpieza, esta debe permanecer en modo espera hasta que se inicie el proceso mediante un pulsador de arranque; al presionarse dicho pulsador, todas las variables del proceso deben ser inicializados, lo mismo que

2.1.1 Entradas

- Sensor de temperatura
- Sensor de PH
- Pulsadores
- HMI
- Sensor de nivel

2.1.2 Salidas

- Contactores para encendido apagado de motores.
- Controlador de frecuencia por ángulo de disparo para control de potencia.
- Salidas a Relé para control de actuadores.
- Salidas analógicas para control de actuadores.

2.2 Funciones parciales o procesos técnicos

La función total de este sistema se divide en funciones parciales, los mismos que se describen a continuación.

Función Encender máquina:

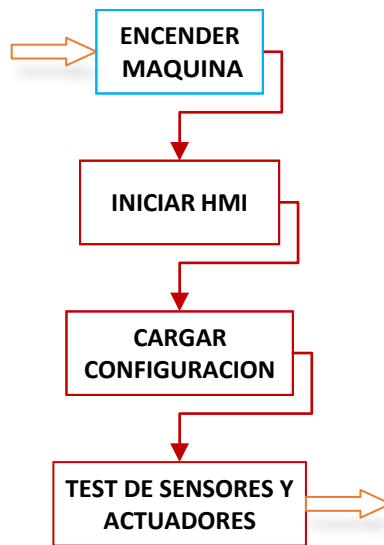


Figura 14. Función de encendido de la máquina.

Esta función permite configurar la maquina según el requerimiento de la fibra de vicuña existente.

Función Iniciar Proceso:

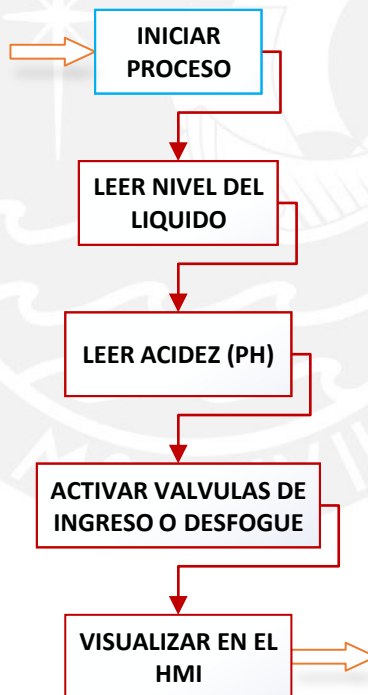


Figura 15. Función de inicialización de la máquina.

Esta función, permite iniciar el llenado de la tina según la lectura del estado de los sensores de nivel.

Función Controlar Temperatura:

Esta función permite realizar el control de temperatura en lazo cerrado, y deberá mantener la temperatura del líquido contenido en la tina de lavado a una temperatura deseada, generalmente a 40 °C.

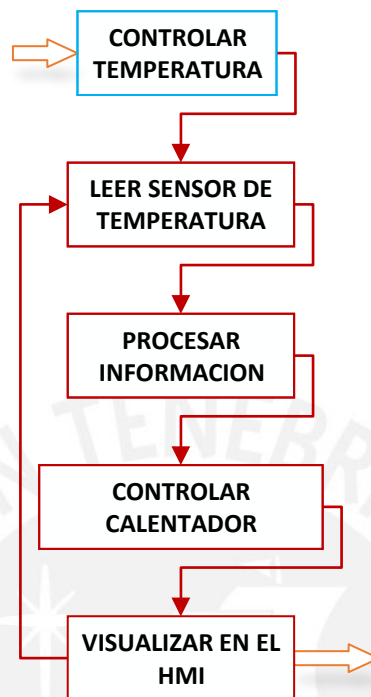


Figura 16. Función de control de la temperatura de tina de lavado de la máquina.

Función Alimentar fibra de vicuña:

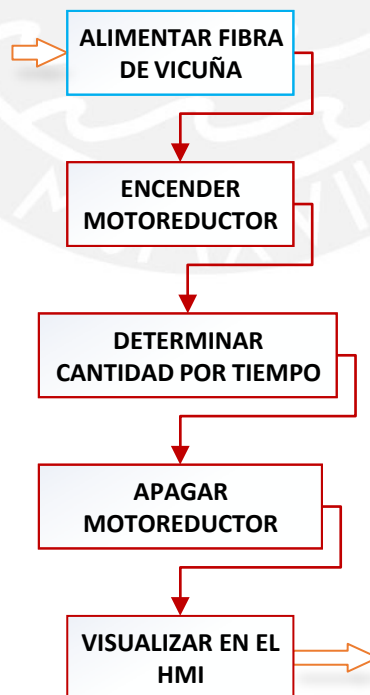


Figura 17. Función de control del alimentador de fibra de vicuña a la máquina.

Esta función permite controlar los motores del alimentador de fibra de vicuña y sincronizar con el encendido del motor que controla el exprimido

Función Iniciar Limpieza:

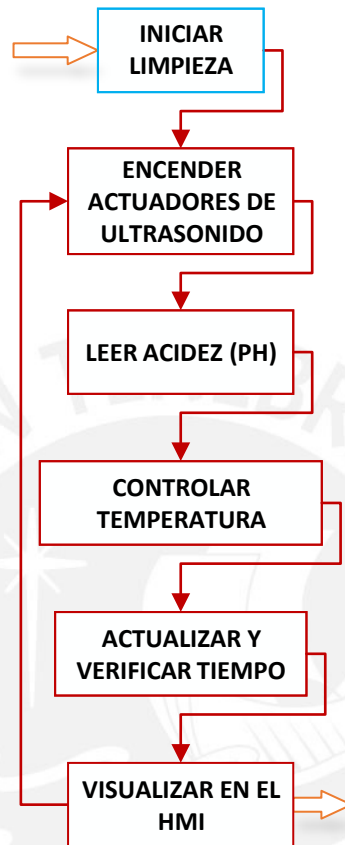


Figura 18. Función de control de limpieza por ultrasonido.

Esta función realiza el encendido de los transductores de ultrasonido para iniciar el proceso de limpieza, a la vez que debe mantener la temperatura del líquido contenido en la tina de lavado, así como, visualizar las variables en el HMI.

Función detener Proceso:

Esta función debe ser realizada presionando los botones de parada provistos en el tablero de control, así como en el HMI; la misma que se encarga de finalizar en forma secuencial el proceso de apagado de todos los actuadores de la máquina.

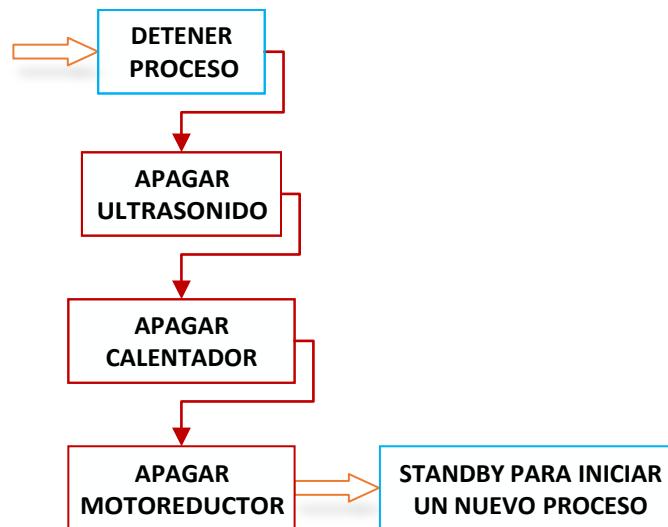


Figura 19. Función de finalización del proceso y parada de la máquina.

2.3 Estructura de funciones por dominio

La máquina de limpieza en sí tiene 4 dominios, pero en este trabajo de tesis se abordará 3 de ellos, los mismos que se describen a continuación:

2.3.1 Dominio Mecánico

Este dominio se encargará de las siguientes funciones parciales:

- **Estructura metálica:** debe estar comprendido por todo el armazón metálico que soporta tanto el líquido de lavado, así como el peso de las piezas de la máquina
- **Sistema de arrastre:** Un actuador debe lograr arrastrar la fibra de vicuña hasta el canal donde se encuentran los ultrasonidos.
- **Sistema de exprimido:** Un actuador debe lograr exprimir la fibra de vicuña, una vez haya finalizado el proceso de lavado, a la vez que debe retirarla hacia un depósito de salida.

Este dominio fue desarrollado por el equipo de Ingenieros mecánicos del proyecto.

2.3.2 Dominio Electrónico

Este dominio tendrá a su cargo los controladores, sensores y el control de actuadores.

- **Adaptación de voltajes:** Se espera trabajar con señales de 5, 12, 24VDC y 220 VAC, según los componentes que componen esta máquina.
- **Señal de control para el actuador:** Depende de la naturaleza del actuador elegido, el mismo que será de 24VDC y 220VAC.

- **Controlador:** Este es la parte principal del sistema, el cual debe permitir controlar la maquina en su totalidad. Debe ser capaz de leer los sensores y realizar el control de los actuadores.
- **Interfaz hombre maquina:** Esta interface esta compuesta por una pantalla del tipo Touch y con comunicación ethernet, esta ha de proveer todo el estado de la máquina, así como el ingreso de valores para la configuración del funcionamiento de la máquina.

2.3.3 Dominio de Control

En el dominio del control se realizará toda la lógica de control de la máquina, si se hubiera elegido un microcontrolador como controlador principal, sería necesario realizar un diseño embebido con las etapas de potencia correspondientes; pero en vista que se ha decidido en el año 2020 la aplicación de controladores industriales, el control de temperatura se realizara mediante un control ON/OFF con histéresis y regulación de potencia por ángulo de disparo.

2.3.4 Dominio de Software

Realizado el proceso anterior, se debe de implementar los algoritmos de control de los motores de alimentación, lavado y exprimido, control de temperatura, activación de válvulas, algoritmos de visualización sobre el HMI, y actuación sobre los actuadores de ultrasonido y encendido y apagado de indicadores.

2.4 Estructura de funciones integradas

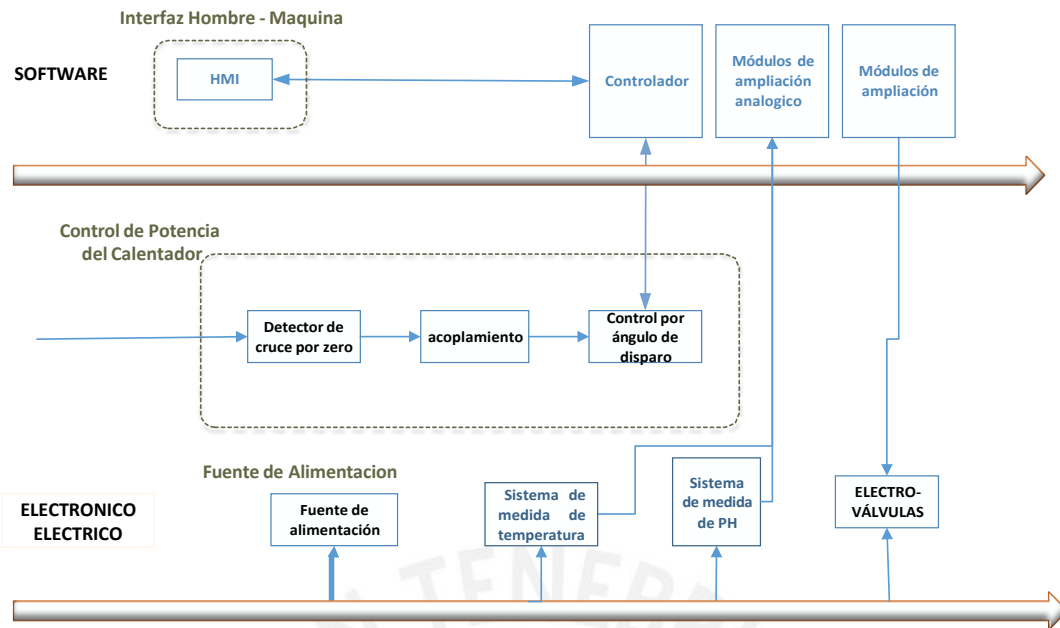


Figura 20. Diagrama de funciones integradas.

2.5 Lista de exigencias

El presente trabajo de tesis es parte del proyecto de investigación: “Diseño de una mini lavadora para fibra de vicuña con una capacidad de 5Kg/h” para la Asociación de criadores de vicuña de la región de Cusco – ACRIVIRC, cuyo objetivo es fabricar una máquina para lavar fibra de vicuña utilizando técnicas de ultrasonido.

El presente trabajo de tesis desarrolla todo lo concerniente al control integro de la máquina y el ensamble de los actuadores de ultrasonido; las exigencias y características con que debe cumplir dicha maquina son los siguientes:

LISTA DE EXIGENCIAS

PROYECTO: “Diseño de una mini lavadora para fibra de vicuña con una capacidad de 5Kg/h”		Desarrollado por:	
SUB PROYECTO: “ SISTEMA DE CONTROL DE UNA MINI LAVADORA DE FIBRA DE VICUÑA POR ULTRASONIDO ”		Alex Jhon Quispe Mescoco	
CLIENTE:		Asociación de criadores de vicuña de la región de Cusco – ACRIVIRC	
CARACTERISTICA	DESEO O EXIGENCIA	DESCRIPCION	RESPONSABLE

Medida de Temperatura	E	Elegir el sensor, realizar el acondicionamiento de señal, adquisición y transmisión de la variable temperatura	Alex Jhon Quispe Mescoco
Medida de Humedad	D	Elegir un sensor de humedad, y realizar su acondicionamiento adquisición de dicha variable	Alex Jhon Quispe Mescoco
Medida de pH	E	Elegir un sensor de pH, y realizar el acondicionamiento, adquisición y visualización de dicha variable	Alex Jhon Quispe Mescoco
Control de Temperatura	E	Obtener la curva dinámica y realizar el control en lazo realimentado utilizando técnicas de teoría de control	Alex Jhon Quispe Mescoco
Limpieza por ultrasonido	E	Seleccionar los transductores de ultrasonido y el controlador apropiado para aplicaciones de limpieza	Alex Jhon Quispe Mescoco
Control de velocidad de arrastre de la fibra de vicuña	D	controlar el variador de velocidad de un motor trifasico, para obtener la velocidad de arrastre apropiada para alimentar la fibra de vicuña	Alex Jhon Quispe Mescoco
Control de válvulas de alimentación y desfogue de agua	D	Seleccionar las electroválvulas y realizar el control de las mismas	Alex Jhon Quispe Mescoco
HMI	E	Implementar una interface amigable para la interacción del usuario con la máquina	Alex Jhon Quispe Mescoco
Software	E	Implementar algoritmos de control para las distintos procesos de la máquina	Alex Jhon Quispe Mescoco





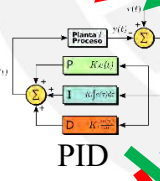
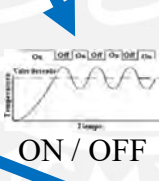
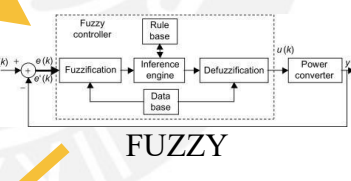


Tabla 2. Lista de exigencias.

2.6 Requerimientos de los sensores y actuadores

Los sensores y actuadores deben estar fijados a las paredes de la máquina, por lo que fue necesario el apoyo de especialistas en mecánica para este procedimiento. Asimismo, los sensores deben ser en lo posible de tipo industrial, al igual que los actuadores utilizados para calentar el líquido y también los actuadores de ultrasonido que permitirán realizar la limpieza de la fibra de vicuña

2.7 Conceptos de Solución

A continuación, se presenta las soluciones posibles para el desarrollo del sistema de control y automatización de la mini-lavadora de fibra de vicuña.

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
Sensor temperatura			
Sensor PH			
Tipo de Control de Temperatura	 PID	 ON / OFF	 FUZZY
Transductor de ultrasonido	 EXTERNO	 SUMERGIBLE	

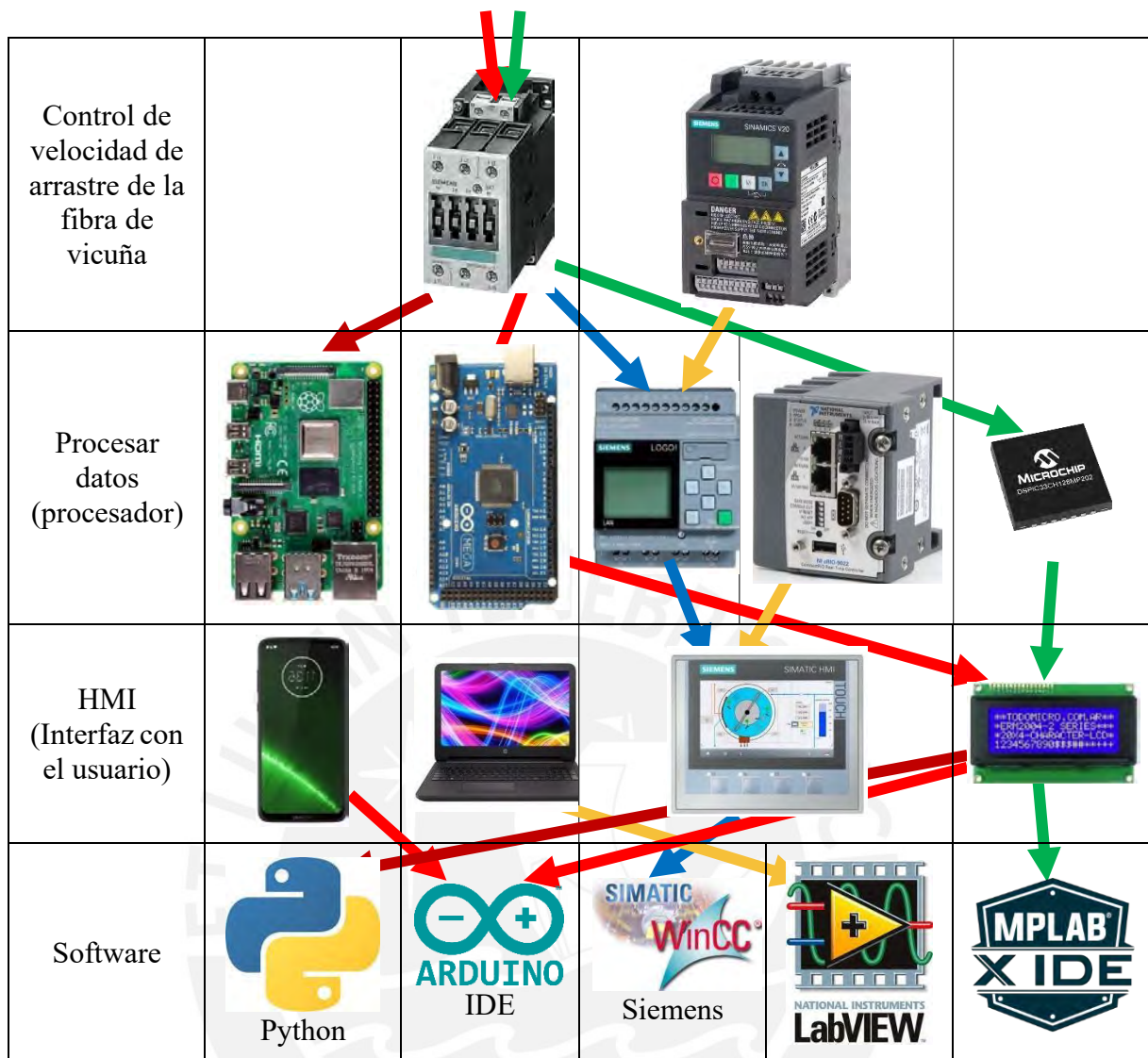


Figura 21. Soluciones evaluadas para el desarrollo del sistema de control de la máquina.

SOLUCION 1:

Esta solución está basada en una alternativa industrial, que consiste en utilizar un sensor PT100 con transmisor de corriente 4-20mA conectado hacia la entrada analógica del módulo de ampliación del PLC Logo8 de Siemens, un HMI KTP400 podría ser utilizado para la interacción con el usuario, siendo necesario un software con licencia de la empresa Siemens (WINCC, TIA PORTAL, LOGO8, y otros).

Una ligera variante de esta solución es utilizar un módulo cRIO de National Instrument, el mismo que requiere de una PC/laptop para interactuar o en todo caso también podría ser una Tablet; es necesario la utilización del software Labview para su programación, pero esta última solución, no se utilizará, debido a que no se encuentran componentes en el mercado local.

El software en estas dos primeras opciones, requiere licencia.

SOLUCION 2:

Otra segunda opción, sería la de diseñar un sistema embebido, en la cual se podría utilizar un sensor DS1820 junto a un microcontrolador Atmel; una pantalla LCD de 4x16 y unos pulsadores harían de interfaz con el usuario, asimismo, el controlador PID discreto es fácilmente implementado en este tipo de dispositivos.

Alternativamente se puede utilizar una raspberry, aunque esta opción no sería tan recomendable en vista que la máquina trabajara en altura y la arquitectura de la tarjeta raspberry no es muy robusta.

En ambas alternativas el software es de libre uso.

SOLUCION 3:

Otra opción podría ser el de fabricar una tarjeta a base de un microcontrolador Microchip para aplicaciones en Automotriz, que cumpla requisitos de robustez como el ATMEGA328PB, PIC24FJ128GB204, por ejemplo, siendo necesario el diseño de hardware embebido.

2.8 Evaluación de los conceptos de solución

En la tabla siguiente se realiza la valoración de cada solución tomando en consideración 15 criterios técnicos y económicos, siendo la valoración máxima el valor de 4 para cada ítem, que sería la solución ideal, y obteniendo la Solución 1, la valoración 34.

Nro.	Criterios técnicos y económicos	SOLUCIONES			
		Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución ideal
1	Uso de energía	2	2	3	4
2	Seguridad	4	3	2	4
3	Rapidez	4	4	2	4
4	Estabilidad	4	4	3	4
5	Robustez	4	3	2	4
6	Flexibilidad	4	4	4	4
7	Facilidad de manejo	3	3	2	4
8	Transportabilidad	1	1	2	4
9	Complejidad de programación	2	2	1	4
10	Grado de Automatización	3	3	3	4
11	Facilidad de adquisición de materiales	4	3	4	4
12	Facilidad de montaje	4	3	2	4
13	Costo de la tecnología	1	1	4	4
14	Facilidad de mantenimiento	4	4	2	4
15	Grado de contaminación	1	1	1	4
TOTAL		45	41	37	60

Tabla 3. Evaluación de los conceptos de solución.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MINILAVADORA DE FIBRA DE VICUÑA

3.1 Descripción del Sistema Mecánico

3.1.1 Descripción del Funcionamiento de la máquina

La figura 22 muestra la minilavadora de fibra de vicuña, 3 motores permiten realizar todo el proceso de lavado de la fibra, el primero alimenta la fibra de vicuña a la tina de lavado, el segundo motor realiza el movimiento en la tina de lavado y el tercer motor se encarga del proceso de exprimido de la fibra de vicuña.

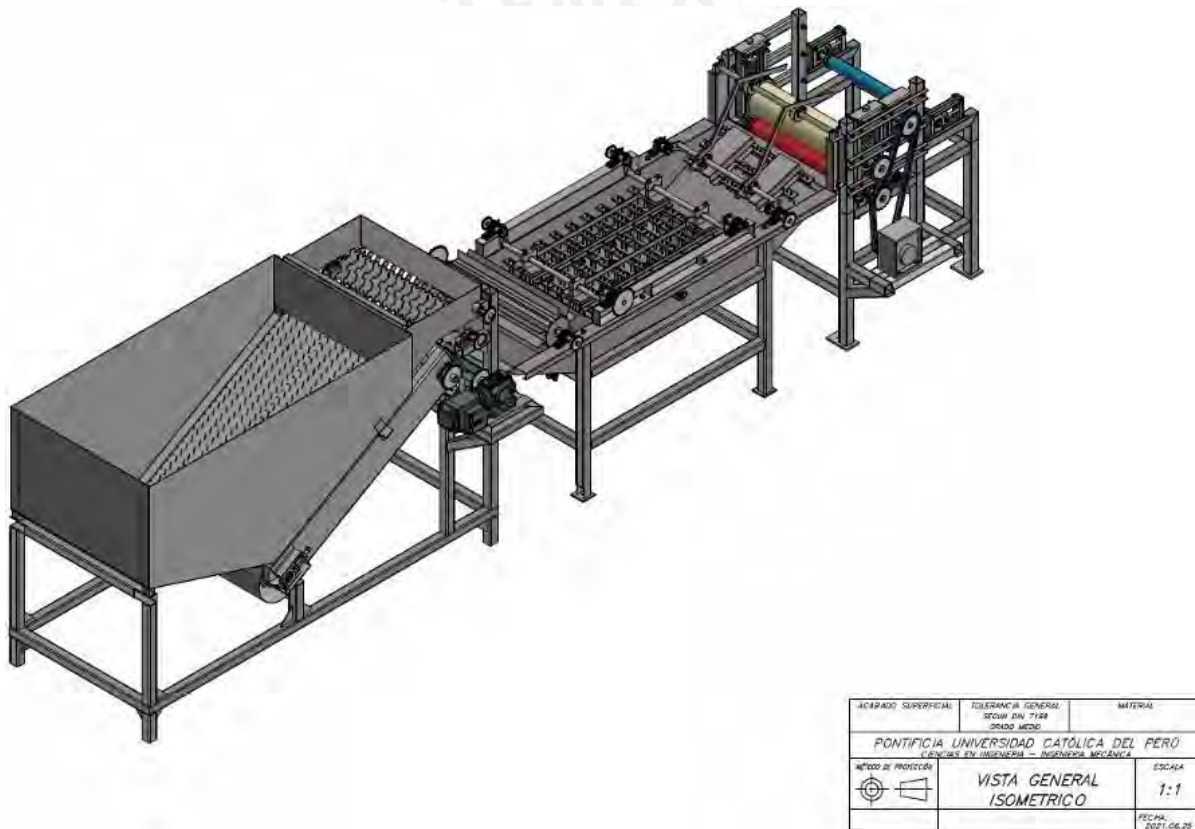


Figura 22. Visualización en 3D de la mini lavadora de fibra de vicuña.

3.1.2 Lógica de Control de la mini lavadora de fibra de vicuña

Denominaremos el Motor M1 al motor que alimenta la fibra de vicuña hacia la tina de lavado, M2 al motor que realiza el lavado y extracción de la fibra en la tina de lavado, el motor M3 se encarga del proceso de exprimido.

Una vez encendida la máquina, el procesador pone en modo espera a la máquina, a la espera de que se presione el botón RUN, una vez presionado, el proceso de inicialización comienza por leer el estado de los sensores de nivel capacitivos alto y bajo, los mismos

que sensan el nivel del líquido de la tina de lavado; si la tina se encuentra vacía, la electroválvula de llenado se enciende, hasta que el sensor de nivel alto detecte que la tina esté llena, momento en el cual se desconecta la válvula de llenado, a la vez que la resistencia es controlada mediante la referencia que le da el módulo de ampliación al controlador por disparo de ángulo, de manera que se sea suave el control de la potencia de la Resistencia, todo esto, hasta lograr una temperatura igual a 40 °C. Constantemente el Transmisor de temperatura debe leer el valor del RTD Pt100 de manera que el controlador compare con la temperatura de referencia.

Mientras la temperatura de la tina se encuentre dentro del rango de 38 y 42 °C, Los transductores de Ultrasonido, así como, el motor de alimentación, lavado y extracción y el motor de exprimido se encenderán en forma secuencial, de acuerdo al tiempo programado desde el HMI. Lógicamente el motor M2 debe funcionar continuamente para realizar el proceso de lavado.

Una vez presionado el Botón /pulsador de parada, la maquina iniciara el proceso de apagado, poniendo en modo OFF todos los motores, los transductores de ultrasonido, la resistencia para calentar el líquido de la tina y las electroválvulas de llenado y vaciado. Si se desea realizar el vaciado del líquido de la tina de lavado, puede realizarse en cualquier momento, mediante el botón de vaciado del HMI.

3.2 Diseño del Sistema de Control

El sistema de control de la mini lavadora de fibra de vicuña está conformado por las siguientes partes, presentados en la figura 6.

3.2.1 Esquema general de conexiones

A continuación, se muestra el diagrama de bloques de las conexiones del sistema eléctrico de la mini lavadora de fibra de vicuña.

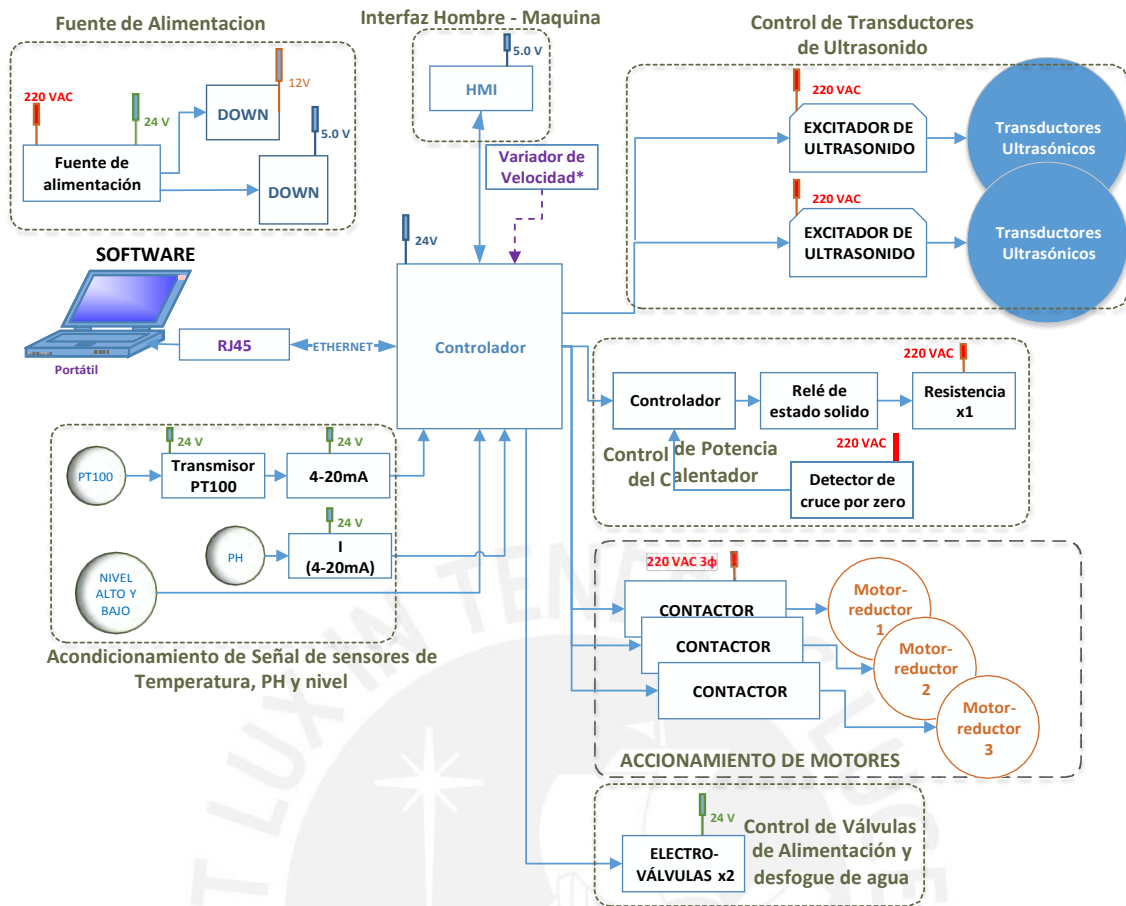


Figura 23. Diagrama general de conexiones del sistema eléctrico de la mini lavadora.

En la figura 23, se visualiza en forma detallada el flujo de conexiones eléctricas del que dispone la máquina de lavado de fibra de vicuña. La mini lavadora dispone de una función de control de temperatura; Se ha realizado el acondicionamiento del sensor de temperatura PT100 para que sea controlada la variable temperatura en lazo cerrado mediante el control de ángulo de disparo de la resistencia de nicrom (calentador) de tipo ON/OFF. Asimismo, la activación de los transductores de ultrasonido se realiza en lazo abierto mediante el generador Beijing Ultrasonic, para este propósito se dispone de 2 generador de 2500W para lograr excitar hasta 26 transductores de ultrasonido a una frecuencia de 68KHz.

Se ha previsto el control de 2 electroválvulas para realizar la alimentación y desfogeo del líquido utilizado para el lavado de la fibra de vicuña. Adicionalmente en el HMI (interface hombre – máquina) aparte del estado de la máquina, y la variable temperatura, se visualizará la acidez del líquido en el cual se está realizando la limpieza de la fibra de vicuña. Finalmente, para el control de los procesos de lavado, se controlan 3 motor-reductores mediante el accionamiento de 3 contactores.

3.2.2 Diagrama eléctrico del sistema de control de la minilavadora de fibra de vicuña

A continuación, se presenta el diagrama eléctrico del sistema de control la minilavadora; como se mencionó anteriormente, está basado sobre un PLC Logo8 de la marca Siemens y sus módulos de ampliación de entradas/salidas digitales y analógicos, así como el control desde un HMI.

En la figura 24, se observa que se dispone de 2 interruptores magneto-térmicos, que energizan al tablero, el interruptor termo-magnético trifásico energiza a todo el sistema en general; mientras que el termo magnético monofásico se encarga de energizar solo a los dispositivos de control y módulos de ampliación del PLC Logo8, mediante dos fuentes de alimentación de 24V DC, la fuente de 2A se encarga de brindar energía al PLC Logo8, los módulos de ampliación, los sensores de nivel, el HMI y al transmisor del sensor de temperatura Pt100. La otra fuente de 24V/10A permite energizar a las electroválvulas de llenado y vaciado, esto, debido a que la cantidad de corriente que consume dichas válvulas es mayor a 2A, esta fuente de alimentación, también brinda energía al controlador por disparo de ángulo para realizar el control de potencia de la resistencia sumergida dentro de la tina de lavado.

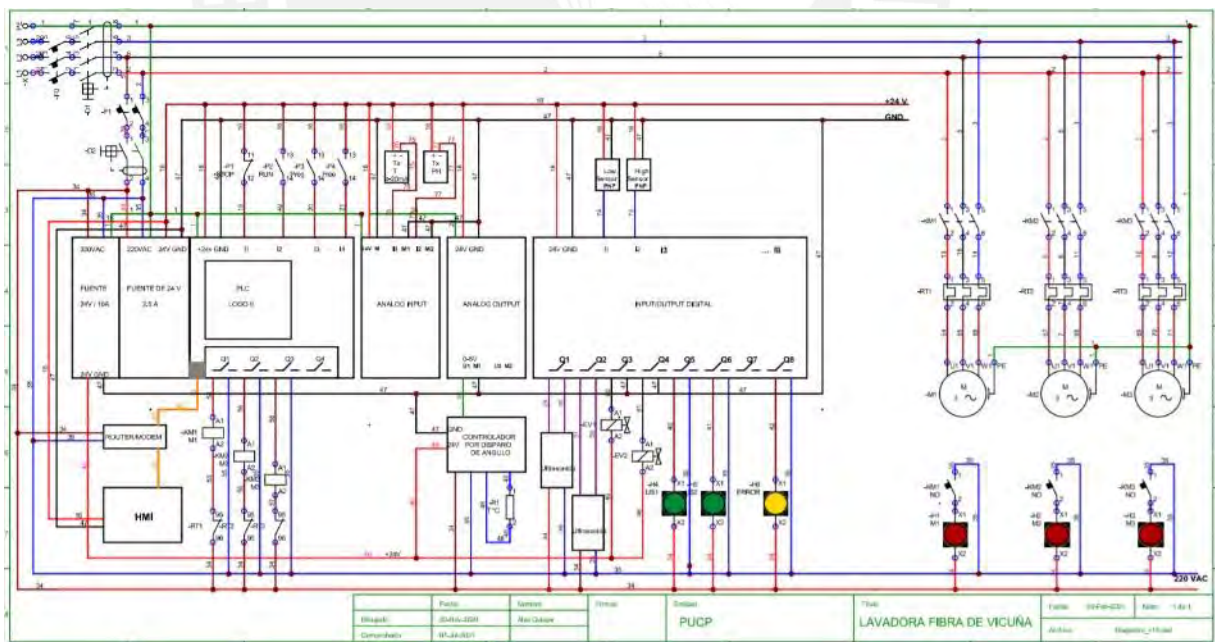


Figura 24. Diagrama Eléctrico de la mini lavadora de fibra de vicuña.

Dos modos de conexiones es posible realizar con los módulos de ampliación analógicos, tal como indica la hoja del fabricante en la figura 25. Para medir la temperatura del líquido

contenido en la tina de lavado, se debe conectar el transmisor de corriente 4-20mA en serie como se indica en la figura 25, donde M1 representa a GND y L+ a +24V.

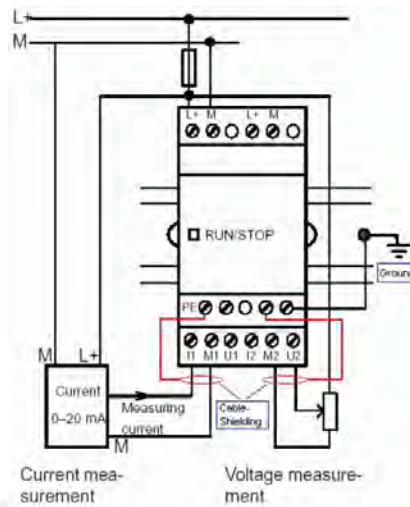


Figura 25. Diagrama de conexión de entrada analógica 0/4-20mA y 0-10V (Siemens)

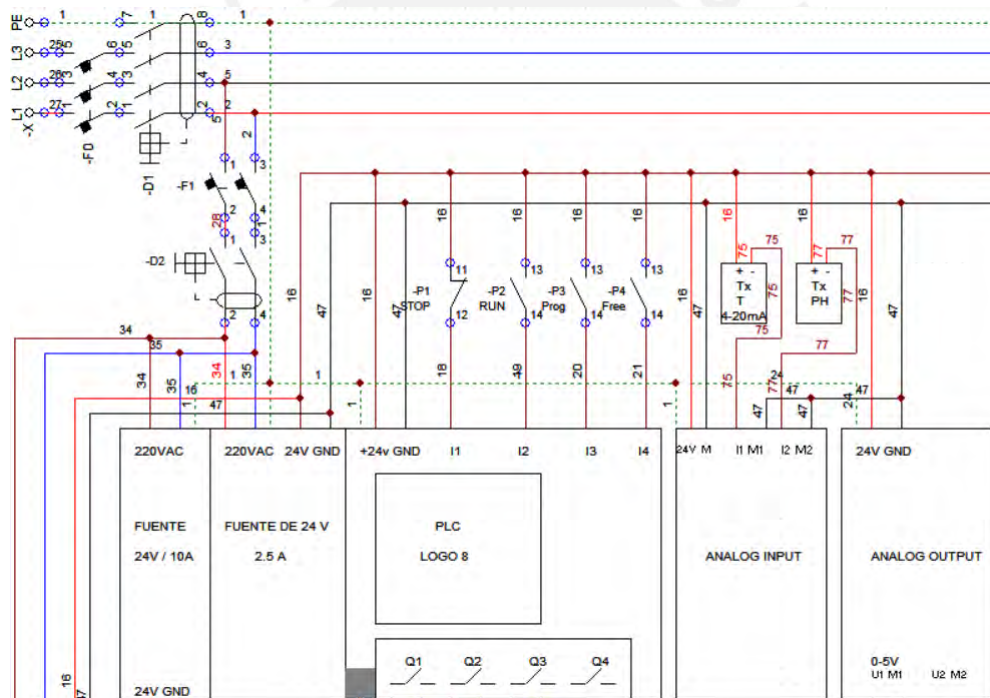


Figura 26. Diagrama de conexión de los transmisores de Temperatura, PH y pulsadores RUN y STOP.

La figura 26, muestra las conexiones de los pulsadores de arranque y parada al PLC Logo8, hacia la parte derecha, se observa las conexiones finales de los transmisores de Temperatura y PH; este último transmisor no está implementado físicamente, pero se ha dejado el cableado listo para su uso.

El circuito de conexión para el transmisor de temperatura es el que se indica en la parte superior derecha de la figura 26. Para el acondicionamiento del sensor Pt100 se requiere un puente Wheastone, en este caso se ha decidido utilizar un transmisor de corriente 4 a 20mA, para evitar problemas de ruido al transmitir la señal adquirida del sensor de

temperatura, debido a que el motor-reductor de alimentación de la fibra de vicuña podría inducir armónicos en la red eléctrica, induciendo ruido en la adquisición de la señal del sensor de temperatura Pt100.



Figura 27. Diagrama del sensor de Temperatura Pt100 con Transmisor integrado

En la figura 28, se puede apreciar el diagrama de conexión del sensor de temperatura Pt100 de 3 hilos, al transmisor de corriente con rango de medida de 0 a 50 °C, el transmisor indicado nos devuelve señal de corriente de 4 a 20mA proporcional al rango de medida mencionado (ósea, para 0°C el transmisor generará 4 mA, y para 50 °C, el transmisor devolverá 20mA). A la salida del transmisor se ha conectado un convertidor de Corriente a Tensión de 0 a 5V correspondiendo en forma equivalente 0v para 0 °C y 5v para 50 °C; esto solo para fines de prueba, no obstante, para la conexión final, hacia el módulo de ampliación analógico del PLC, se ha realizado sin el modulo conversor de corriente a voltaje.

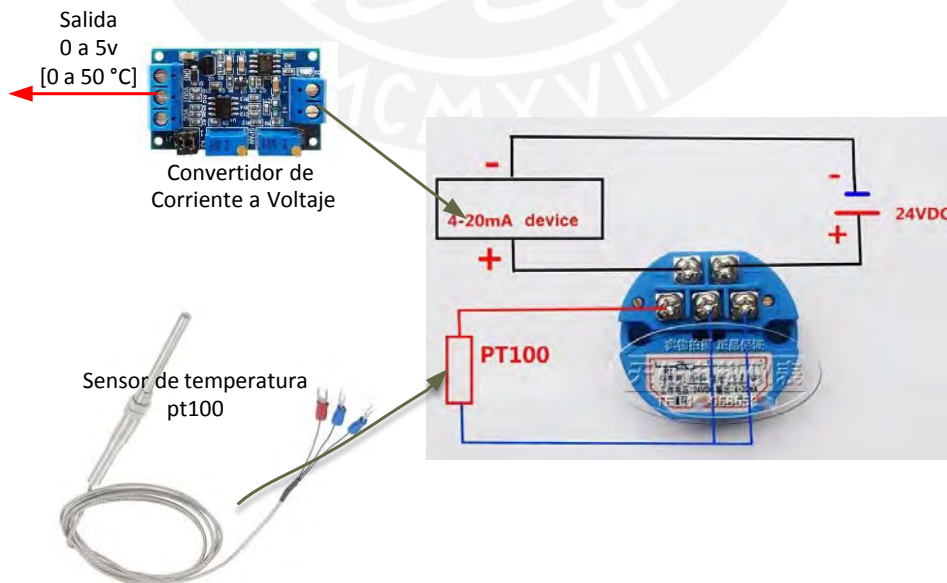


Figura 28. Conexión Circuital del Sensor de temperatura al transmisor de corriente.

Para el caso de los pulsadores rasantes RUN y STOP, las conexiones se realizan en forma directa a +24V y las entradas I1 e I2 del PLC Logo8 respectivamente, tal como se aprecia en la figura 26. Las entradas I3 e I4 se dejan libres para mejoras futuras o para añadir otras funciones a la máquina.

3.2.3 Control e Instalación de los actuadores de ultrasonido

El control de los Transductores de ultrasonido se realiza, controlando la entrada remota de los generadores de frecuencia *Beijing Ultrasonic* (figura 35), estos dispositivos permiten controlar potencia y frecuencia de los transductores de ultrasonido (40KHz) instalados en la base de la tina de lavado, tal como se indica en las figuras 29, 30, 31 y 32.



Figura 29. Parte superior de los actuadores de ultrasonido



Figura 30. Parte lateral de los actuadores de ultrasonido



Figura 31. Instalación de los actuadores de ultrasonido sobre la base de la tina de lavado



Figura 32. Instalación eléctrica de los actuadores de ultrasonido

Como se ha indicado líneas arriba, para poner en funcionamiento se requiere de un equipo generador de pulsos de alta potencia a una frecuencia de 40KHz, cuyo esquema eléctrico se aprecia en la figura 33, el mismo que corresponde a un amplificador de potencia clase A. En la sección de calibración y puesta en marcha del Controlador de actuadores de ultrasonido, se detalla la parte interna y calibración respectiva del mismo.

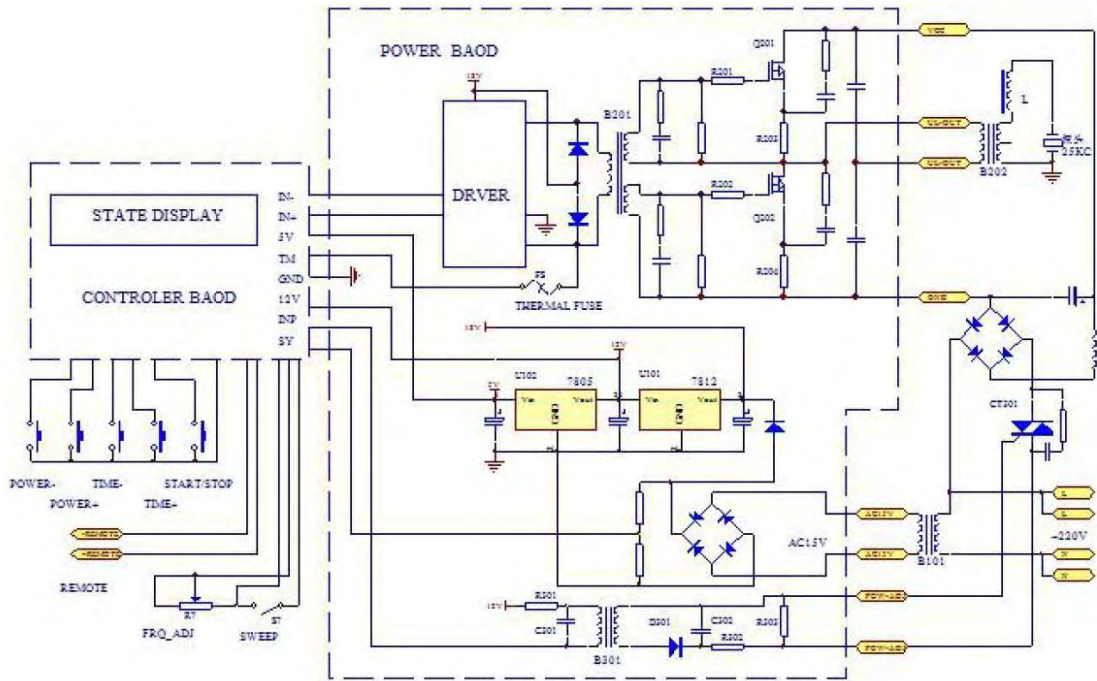


Figura 33. Circuito de control del generador ultrasónico

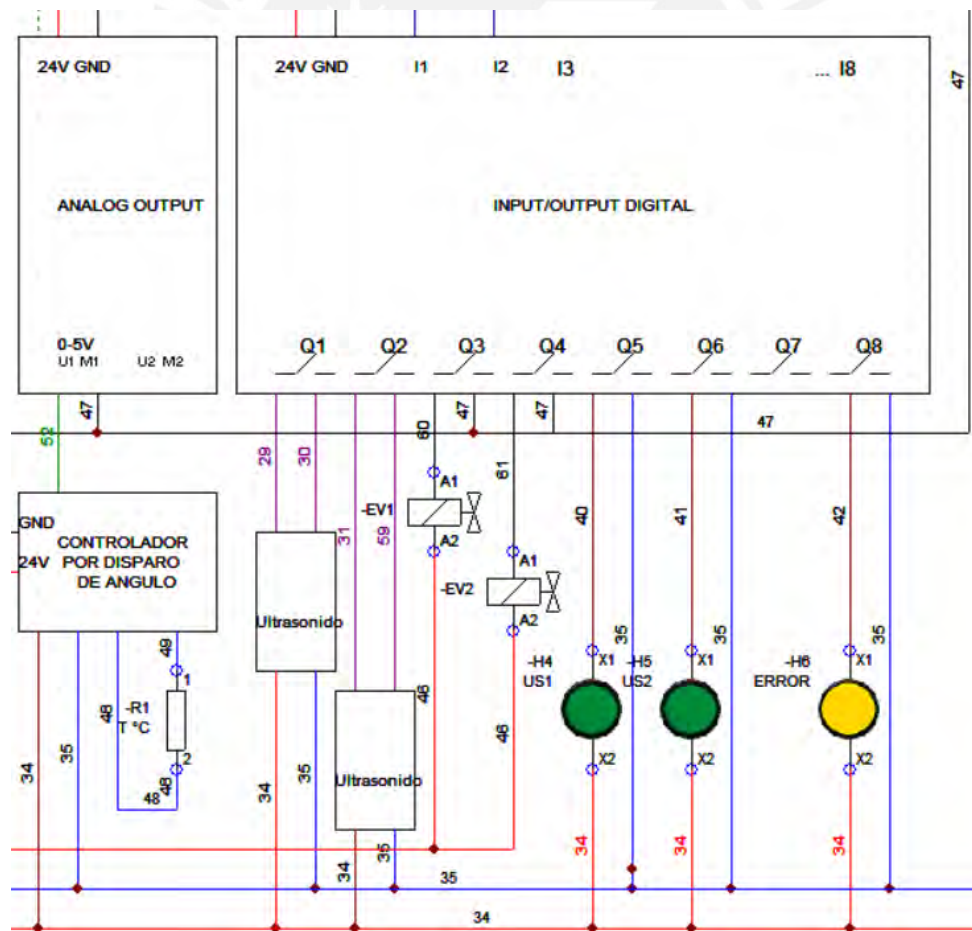


Figura 34. Diagrama de conexión de las entradas remotas de los controladores de Ultrasonido

La figura 34 muestra la conexión eléctrica de los Generadores de frecuencia, cada generador de frecuencia maneja una cierta cantidad de Transductores de ultrasonido, la misma que depende de la potencia del generador; como se puede apreciar en la figura 34, el PLC controla la entrada remota ubicada en la parte trasera del generador, los mismos que están conectados a las entradas Q1 (Q5) y Q2 (Q6) del módulo de ampliación de E/S digitales.

Adicionalmente a los Transductores de ultrasonido de 68 KHz, se han adquirido otros transductores de ultrasonido de tipo sumergibles, y cuya disposición e instalación dentro de la tina de lavado, se muestra en la figura 35.

Las medidas de la tina de lavado, según el plano mecánico son de: 565x700x180 mm (Largo x Ancho x Altura). En la figura 35, se muestra que se requiere unos cuantos cm adicionales para la correcta instalación de los sumergibles de ultrasonido, esto considerando los modelos seleccionados en la tabla 4.

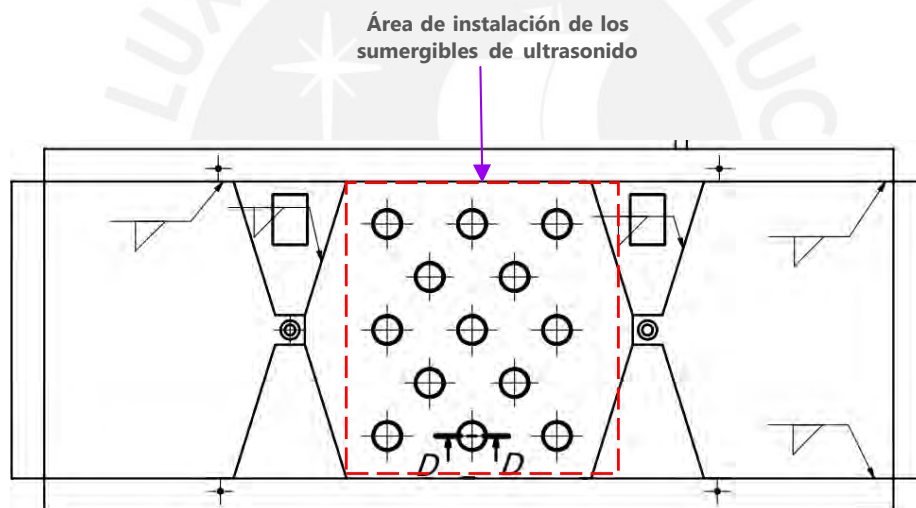


Figura 35. Área de instalación de los transductores sumergibles de ultrasonido

El Tipo de montaje propuesto, es el del Método 1 (Bottom immersion) presentado en la figura 36, de acuerdo a la hoja del fabricante.

Three Optional Mounting Methods

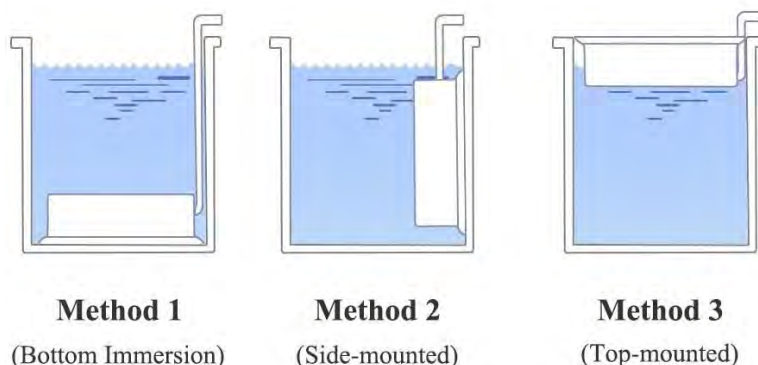


Figura 36. Tipos de montaje según el fabricante.

La selección de los transductores sumergibles de ultrasonido se realizó según las dimensiones de la tina de lavado; en la tabla 4, se muestra la selección de transductores sumergibles de ultrasonido de 40 KHz de la marca Tullker, modelos T-1048Z y T1006Z, internamente cada modelo contiene 48 y 6 Transductores de ultrasonido respectivamente. Asimismo, estos modelos permiten su conexión con tubo duro o flexible (soft tube); siendo deseable el de tubo duro.

Tipo / Modelo	Dimensión (mm)	Potencia (W)	Frecuencia (Khz)	Cantidad de Transductores ultrasónicos	Tubo de conexión	Cantidad a comprar (unidades)
T-1048Z	600*420*100	2400	40	48	hard tube	1
T-1006Z	300*150*100	300	40	6	hard tube	2
Controlador/generador para 2400W		2400				1
Controlador/generador para 300W		300				2

Tabla 4. Selección de transductores sumergibles de ultrasonido.



Figura 37. Transductor sumergible de ultrasonido de 300W y 2400W

Según la teoría expuesta por el fabricante de transductores de ultrasonido, la selección de frecuencia de trabajo de los transductores de ultrasonido debe ser de 40KHz para propósitos de limpieza de fibra de vicuña; es importante recordar que la elección de la frecuencia de funcionamiento depende del tipo de piezas o materiales que desees limpiar. Las frecuencias más bajas, como 28 kHz, son adecuadas para piezas grandes, pesadas o de alta densidad. Las frecuencias más altas, como 40 kHz, son más apropiadas para piezas más pequeñas y sofisticadas, así como para la eliminación de partículas diminutas.

A continuación, se muestra la configuración de montaje final en la tina de la mini lavadora de fibra de vicuña. La figura 38 muestra una sugerencia de montaje de los Transductores sumergibles, que son de 2 tipos, uno de 1800W (40 Transductores de Ultrasonidos) y otros 2 de 300W (12 Transductores de Ultrasonidos), colocados como se indica en la figura. Es necesario mover el sensor de temperatura (Pt100), 10cm encima de la base de la tina, así como ubicar los sensores de nivel capacitivo en un lugar donde no interfiera con los sumergibles.

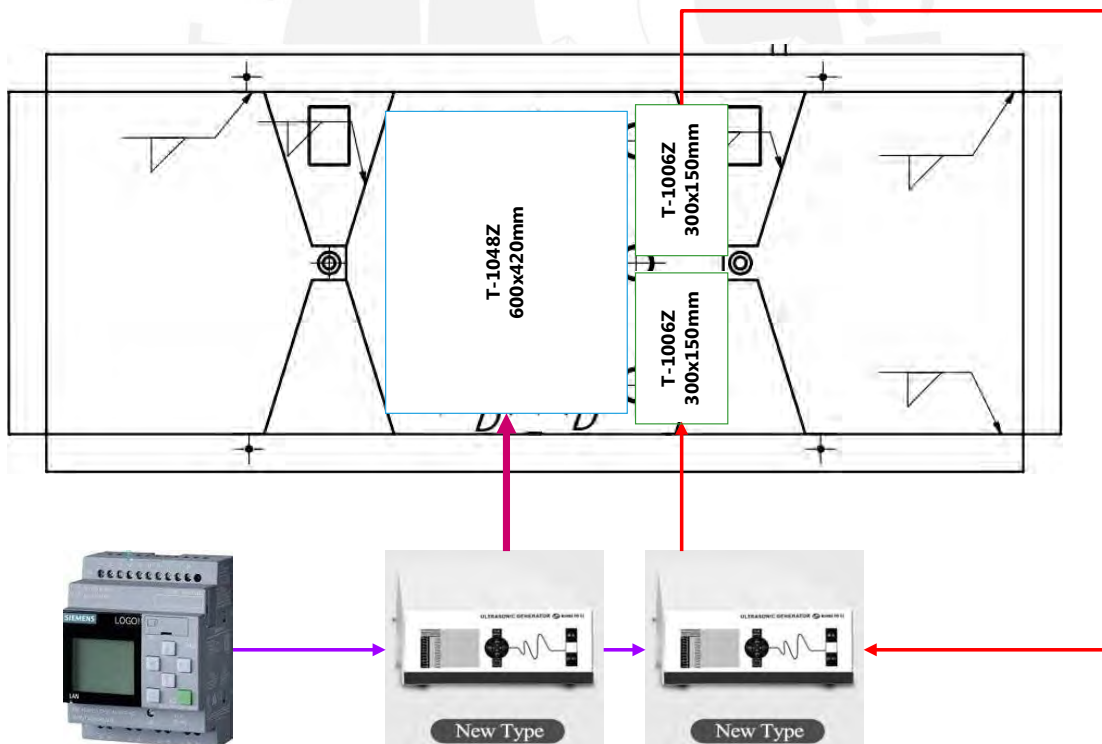


Figura 38. Configuración de montaje de los Transductores sumergibles de ultrasonido en la mini lavadora de fibra de vicuña

Para la calibración y puesta en marcha del generador de frecuencia para transductores de ultrasonido, la figura 39, muestra el generador ultrasónico con sus respectivas funciones, este generador es utilizado para generar una frecuencia de 68KHz y lograr excitar a los

transductores de ultrasonido, instalados y conectados en paralelo en la base de la tina de lavado.



Figura 39. Generador de frecuencia para transductor ultrasónico de 68KHz.

El proceso de calibración, se realiza según la hoja del fabricante, el mismo que consiste en variar internamente las borneras que se muestran en la figura 40 y 41; para ello se deberá seleccionar el dip-switch en las posiciones que indica el fabricante y luego se procede a variar el potenciómetro utilizando un perillero hasta obtener la frecuencia óptima.

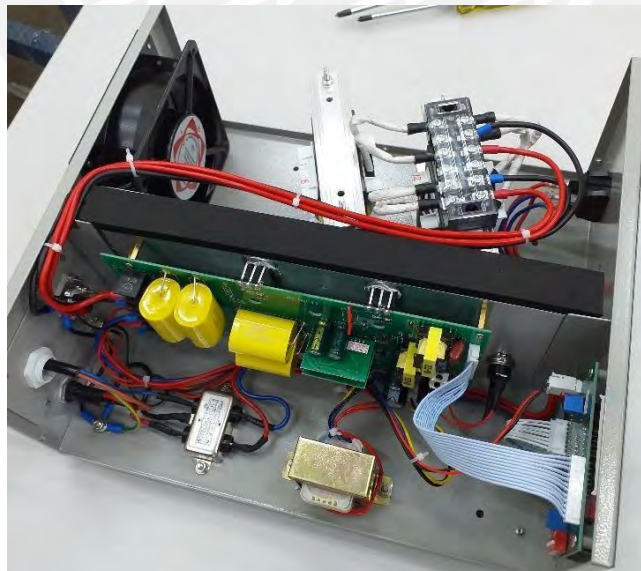


Figura 40. Parte interna del controlador de actuadores de ultrasonido

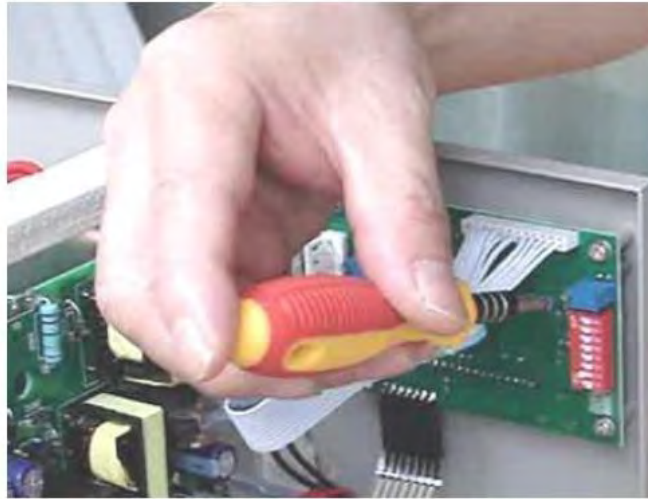


Figura 41. Bornera de Configuración del generador Beijing Ultrasonic

El control remoto del generador ultrasónico se realiza cerrando el circuito de la bornera trasera del equipo, tal como indica la figura siguiente.



Figura 42. Conector remoto y salida hacia los transductores de ultrasonido del generador Beijing Ultrasonic

3.2.4 Control de motores de alimentación, lavado-extracción, y exprimido.

Para el control de estos 3 procesos, se ha provisto de 3 motor-reductores que controlan los procesos antes mencionados. En vista que los motores están acoplados a una caja de engranes reductora, solo es necesario encender el motor-reductor sin ningún tipo de control adicional, según el proceso deseado.



Figura 43. Placa del motor Siemens LMH-1606

En la figura 43, se presenta las características del motor, el cual es un motor trifásico de 1HP (0.7457KW) y una eficiencia de 77%, por lo tanto, como se requiere el uso de un variador de velocidad, para obtener la relación de reducción mediante engranajes de la caja reductora y prescindir del variador de velocidad en el momento del control de los procesos de alimentación, lavado y exprimido de la fibra de vicuña, se realizará un cálculo pequeño mediante la fórmula siguiente:

$$Hp_{(Eléctrico)} = \frac{kW \times E}{0,746} \dots (I)$$

Donde:

KW: Kilowatts (1000Watts)

Hp: Horse power o caballo de potencia

E: Eficiencia del motor

Reemplazando en la fórmula 1, se obtiene que el variador de velocidad debe ser de 0.769 HP; con un factor de seguridad de 0.5 elegiremos uno mayor o igual a 1.15 HP, el mismo que sería de 1.5 HP como el más cercano, comercialmente hablando.

Una vez instalado los motor-reductores en la mini lavadora de fibra de vicuña, se ha procedido a realizar el control de los mismos, para ello, se ha hecho uso de contactores controlados por las salidas a relé Q1, Q2 y Q3 del PLC Logo8, como se muestra en la figura 44; las tres bobinas KM1, KM2 y KM3 son energizadas a 220V AC, mediante las salidas Q1, Q2 y Q3 del PLC Logo8 respectivamente; cada circuito está protegido por los contactos normalmente cerrados, RT1, RT2 Y RT3 de los relés térmicos respectivamente; los relés térmicos protegen a los motores, en el caso que estos superen la corriente de

2.5A, abriendo los contactos RT1, RT2 y RT3, y forzando de esta manera la desconexión de las bobinas de los contactores, forzando el apagado o parada de los motores.

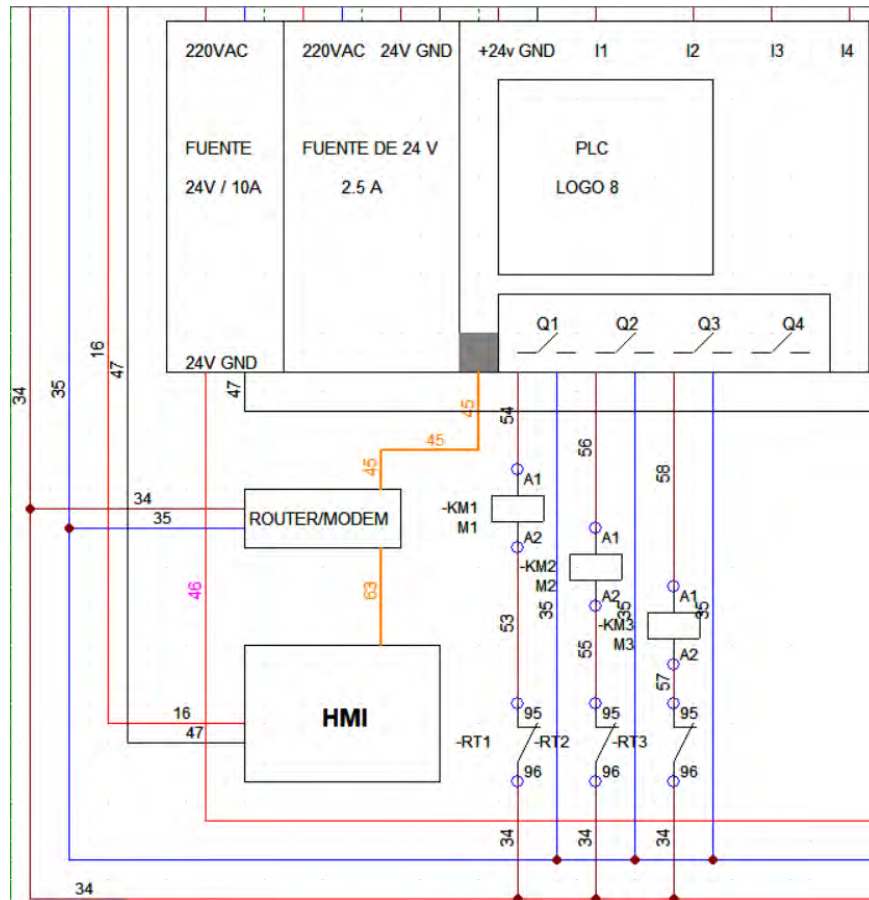


Figura 44. Diagrama eléctrico para el control de los sistemas de alimentación, lavado y exprimido

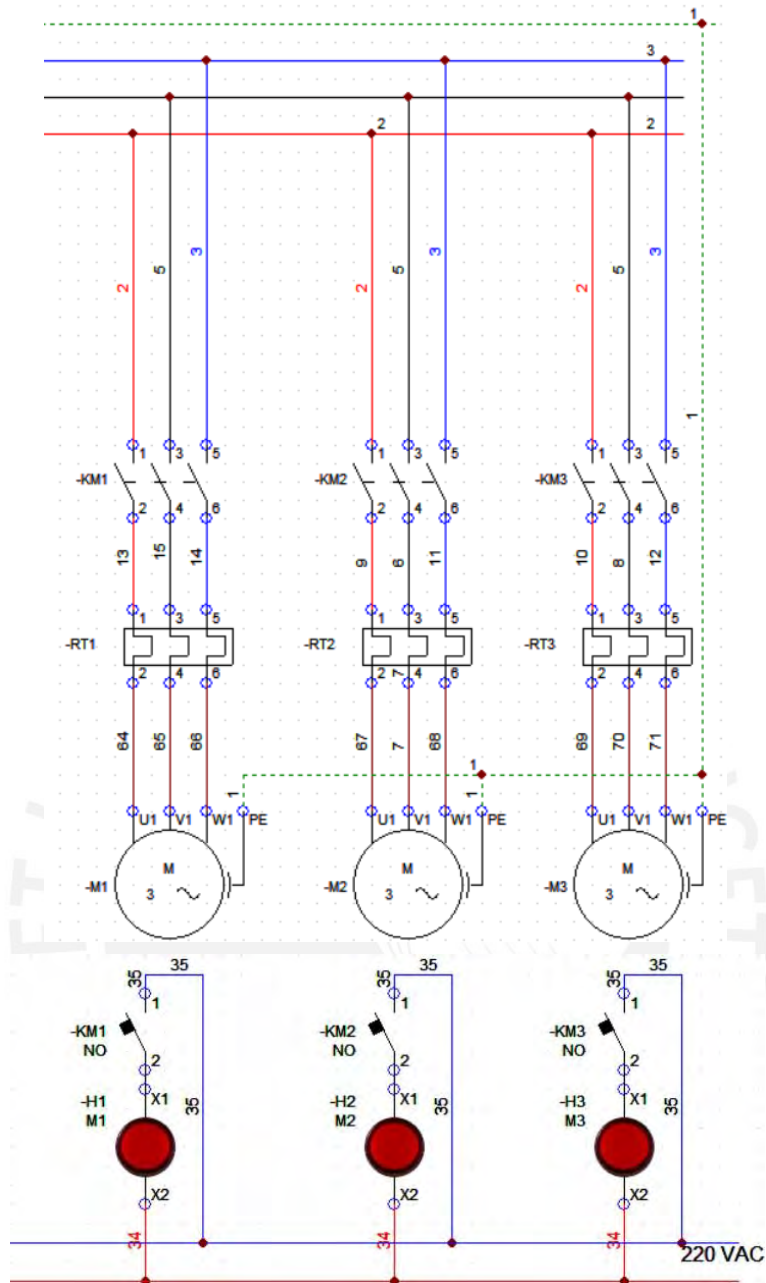


Figura 45. Diagrama eléctrico del circuito de fuerza de los motores M1, M2 y M3

La figura 45 muestra el diagrama eléctrico para el encendido y apagado de los motores M1, M2 y M3, encargados de los procesos de alimentación de la fibra de vicuña, lavado y exprimido respectivamente, se puede apreciar claramente que cada motor es activado por su respectivo contactor, a la vez que es protegido por un relé térmico que sensa en forma continua la cantidad de corriente que circula por los bobinados del motor a proteger. Los contactos Normalmente abiertos (NO) de los contactores KM1, KM2 y KM3 se han cableado de tal manera que puedan encender indicadores rojos cuando estén en pleno funcionamiento, los contactos KM1, KM2 y KM3 se cierran cuando el contactor respectivo se encuentra activo o energizado.

3.2.5 Control de temperatura

Para no dañar la fibra de vicuña en el proceso de lavado, es importante mantener la temperatura de la mezcla líquido-detergente, a 40 °C. El control de temperatura que se utilizó, está basado en el control ON/OFF con Histéresis, como se muestra en la figura 46.

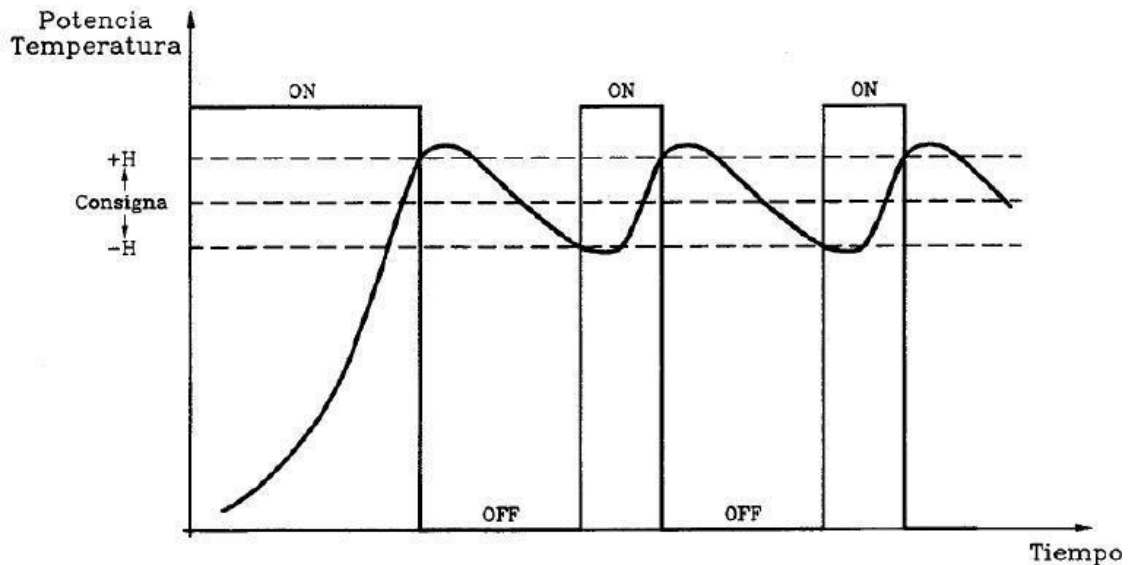


Figura 46. Diagrama de control ON/OFF con Hysteresis

Al encender el Sistema, y presionar el botón RUN, el sistema de control inicia con la lectura del transmisor de temperatura presentado en la figura 26, y el encendido de la resistencia a través del circuito de control de ángulo de disparo mostrado en la figura 50, en la figura 46, se observa que la resistencia es encendida hasta que se sobrepase la Consigna + H, momento en el cual se apaga la resistencia, hasta detectar el valor de la Consigna - H, instante en el cual debe de volverse a encender la resistencia. Si bien es cierto la variación de la activación de la resistencia se visualiza como si fuera el encendido y apagado de la resistencia; el control de temperatura aun es más suave, debido a que en vez de encender y apagar en forma inmediata la resistencia, lo que se realiza es controlar la señal de entrada del Controlador del ángulo de disparo con señal de voltaje del tipo rampa, lográndose controlar la potencia de la resistencia en forma de rampa ascendente y descendente; todo esto gracias a que el módulo de ampliación de salida analógica del PLC, entrega un voltaje de 0 a 5V a la entrada analógica del microcontrolador ATmega328P, siendo una correspondencia directa de variación de voltaje de 0 a 5V, para obtener una potencia de 0 a 1000W en la resistencia que se usa para calentar el líquido de la tina de lavado.

3.2.5.1. Circuito de Detección de cruce por cero

El circuito que se muestra permite detectar el cruce por cero de la onda de la red eléctrica, tanto en el ciclo positivo a negativo y viceversa, El circuito H11AA1 permite aislar ópticamente para obtener pulsos cada vez que la onda senoidal pasa por 0 voltios; el CI 40106 (smith trigger) reconforma el pulso obtenido.

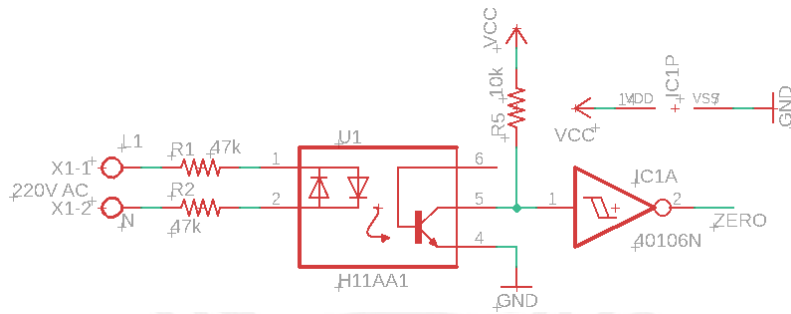


Figura 47. Circuito de detección de cruce por zero utilizando el CI H11AA1

El circuito integrado H11AA1, fue reemplazado por el circuito de la parte izquierda de la figura 50, debido a que se dañó en el momento de la implementación; en dicho circuito se aprecia que la tensión de 220VAC pasa por un puente de diodos 4N4007, tal como si se tratase de un rectificador, obteniendo una tensión DC suficiente para encender el led del 4N25, cada vez que la onda sinusoidal pasa por cero voltios. En este caso el colector del transistor esta alimentado directamente a 5V y el emisor del 4N25 se encuentra a tierra mediante una resistencia de 10KΩ, forzando el cero lógico, y únicamente se produce un pulso corto mientras el diodo se encuentra en polarización directa, la figura 48 se muestra este proceso, la señal roja indica la señal de 5V generada por la detección del cruce por cero.

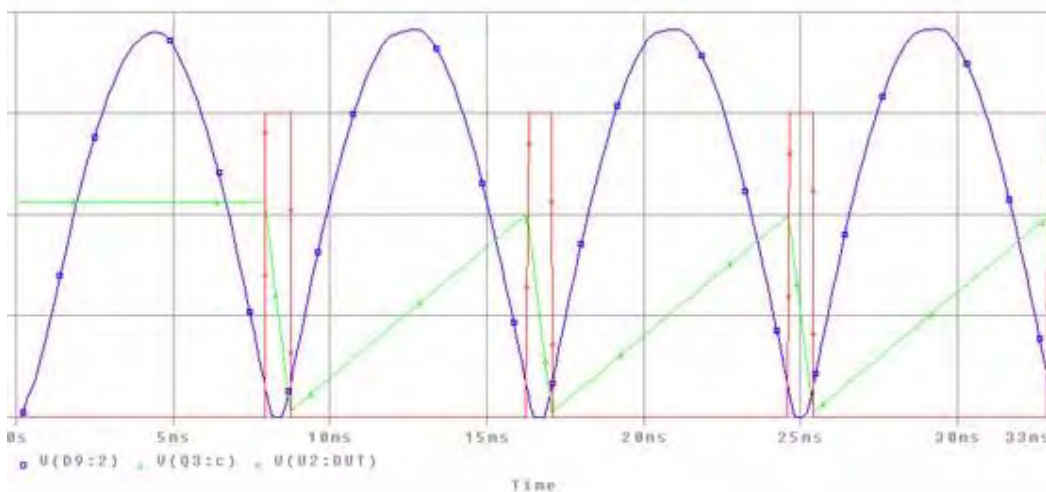


Figura 48. Formas de onda del circuito de detección de cruce por cero.

3.2.5.2. Circuito de control por ángulo de disparo de la resistencia de calor

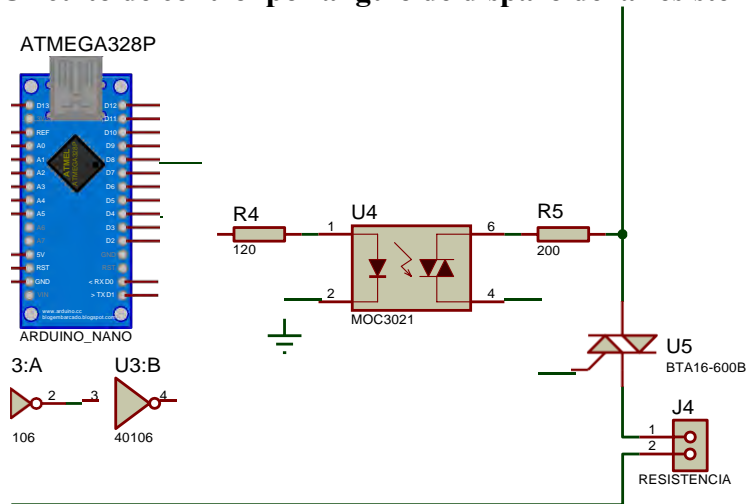


Figura 49. Circuito de disparo por control de ángulo utilizando el TRIAC BTA16

El circuito presentado permite regular la potencia de la carga (Resistencia) mediante el control del ángulo de disparo. Cada vez que se detecta el cruce por zero de la onda de la red eléctrica, el controlador realiza el disparo mediante la siguiente relación matemática:

$$T = \text{Angulo}[\text{°}] \times 8.33[\text{ms}] / 180[\text{°}] \dots(\text{II})$$

Dónde: $0 \leq \text{Angulo} \leq 180 \text{ °}$

El tiempo de 8.33ms es debido a que la frecuencia de la red eléctrica es de 60 Hz $T_{\text{red_eléctrica}} = 1/60 = 0.0166666\text{ms}$, pero como el cruce por cero sucede en cada medio periodo de la onda, se divide por 2 el valor obtenido, quedando el $T_{\text{red_eléctrica}}/2 = 0.00833333$ segundos.

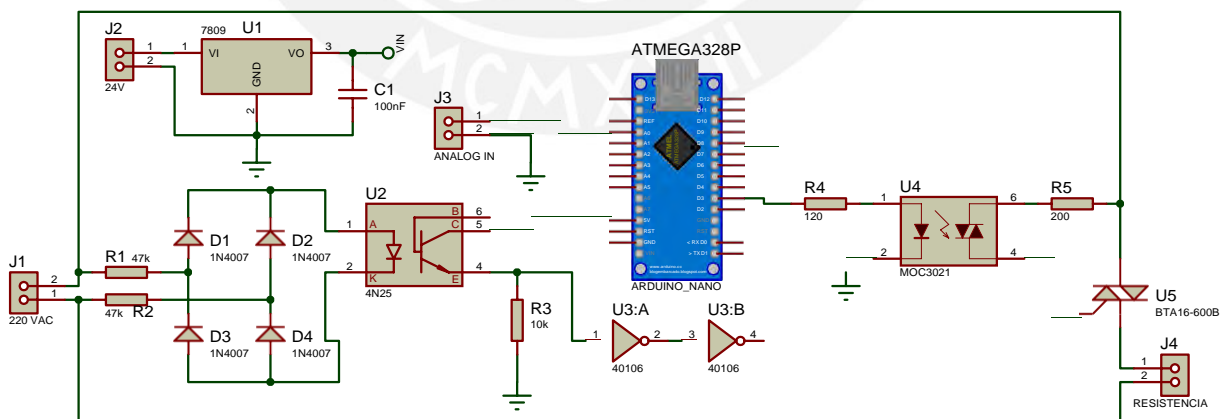


Figura 50. Circuito de control de potencia de la resistencia generadora de calor.

La figura 50, muestra el circuito completo para controlar la potencia de la resistencia de 1000W instalada dentro de la tina de lavado, esta resistencia permite calentar el líquido-detergente hasta 40 °C, y evitar que se dañe la fibra de vicuña durante el proceso de lavado, en vista que uno de los requisitos primordiales, es que la fibra de vicuña debe

estar sumergida en dicha temperatura, para conservar sus propiedades y evitar dañar la finura y textura de la fibra. El circuito de la figura 50 permite controlar en forma continua y suave el valor de la potencia sobre la resistencia de calor, obteniendo como resultado un control más suave y preciso.

La regulación de potencia se realiza mediante la señal analógica que envía el módulo de ampliación de salida analógica; cuya variación es de 0 a 10V, pero se ha realizado un recorte a dicha tensión, en vista que el rango de medida del convertidor analógico a digital (ADC) del microcontrolador ATmega328P solo permite tensiones de entrada de 0 a 5V. El diagrama eléctrico de conexión del controlador de potencia de la resistencia, el módulo de ampliación de salida analógica, se muestra en la figura 51. El cable 52 (entrada AN0 del ATmega328P), se conecta a la salida U1 del módulo de ampliación de salida analógica, asimismo el circuito debe ser alimentado con 24V para que funcionen adecuadamente los circuitos internos del controlador de potencia. Asimismo, una entrada de 220V AC debe ser conectada al módulo, para que este permita sacar 220V AC regulado según el setpoint/referencia que le envíe el PLC Logo8 a través de la salida analógica del módulo de ampliación. Lógicamente la resistencia de calor debe estar conectado a los terminales 48 y 49.

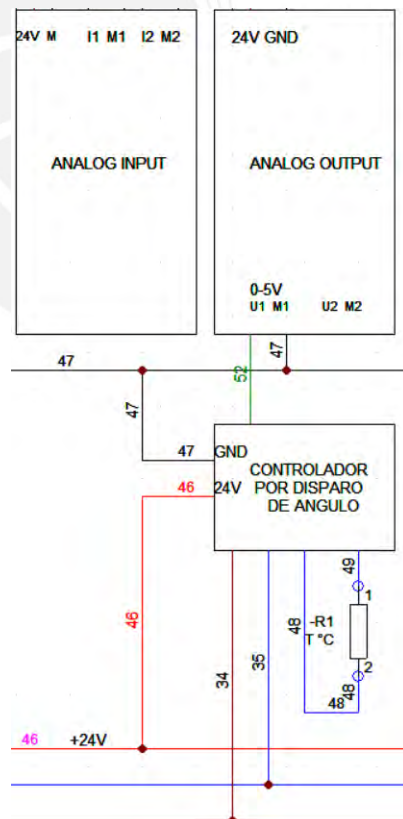


Figura 51. Diagrama eléctrico de conexión del Controlador por disparo de ángulo

3.2.6 Circuito de control de las electroválvulas de alimentación y desfogue de líquido

El control de las electroválvulas es de acuerdo a la lógica presentada en la tabla 5.

Entradas		Salidas				
Nivel alto	Nivel bajo	Valvula llenado	Valvula vaciado	RUN	STOP	Error
0	0	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0

Tabla 5. Lógica de control de las válvulas de llenado y vaciado del líquido de la tina

Realizando las simplificaciones lógicas, se obtiene el circuito lógico de la figura 52, circuito lógico que permite realizar, en forma correcta, el proceso de llenado y vaciado del líquido de la tina de lavado; por lo tanto, estas operaciones lógicas deben ser implementadas en la programación del PLC Logo8 para el control de las electroválvulas.

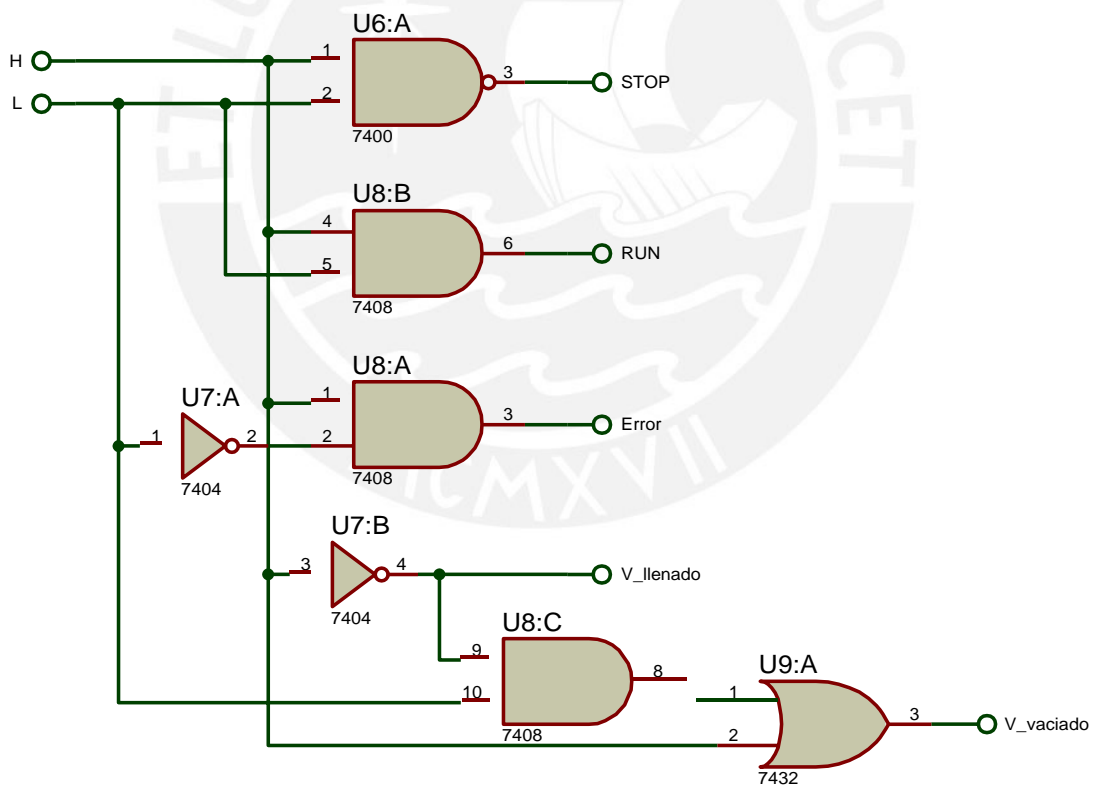


Figura 52. Lógica de control de las válvulas de llenado y vaciado de líquido de la tina de lavado

La figura 53 muestra el cableado eléctrico de los sensores de nivel capacitivos tipo PNP y las salidas a relé Q3(Q7), Q4(Q8) del módulo de ampliación de entradas/salidas digitales, la electroválvula EV1(Válvula de llenado) es conectada a 24V mediante la

salida Q3 del módulo de ampliación, en forma similar, la salida Q4 permite controlar la electroválvula EV2(Válvula de vaciado). Asimismo, debe notarse que el indicador de error también es activado mediante la salida Q8 del módulo de ampliación.

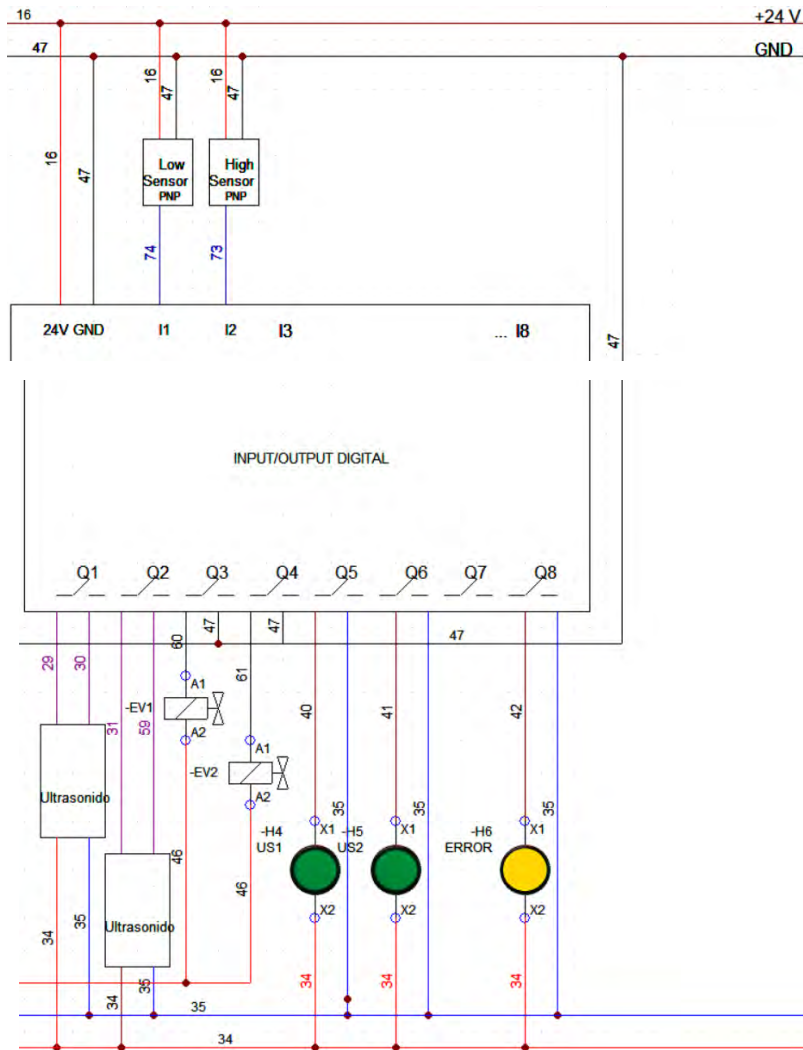


Figura 53. Diagrama de conexiones de las electroválvulas y los sensores de nivel capacitivos

Debo indicar que cada una de las electroválvulas consumen más de 2A, por lo que fue necesario agregar una fuente de alimentación de 24V a 10A, tal como se muestra en la figura 54. Observar que la salida positiva de la fuente de 24V/2.5A está definida por la línea 16, y la fuente de 24V/10A está declarada como la línea 46; las tierras de ambas fuentes están compartidas en la línea 47 del diagrama eléctrico.

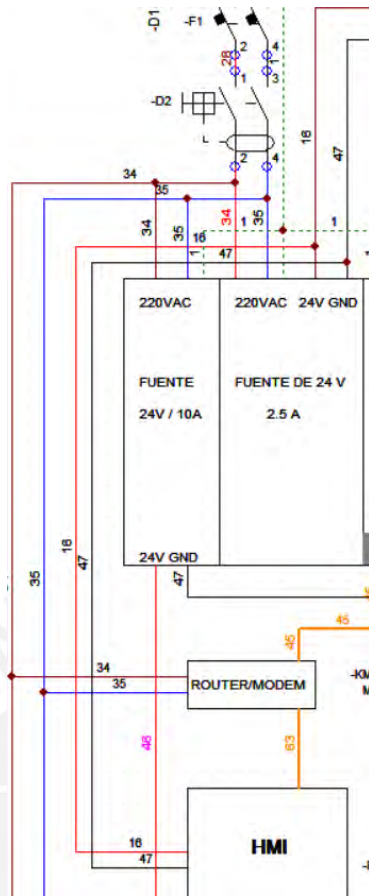


Figura 54. Diagrama de conexión de las fuentes de alimentación de 24V

3.2.7 Diseño de Algoritmos y programación del Sistema de Control

El programa principal del sistema de control está representado en el siguiente diagrama

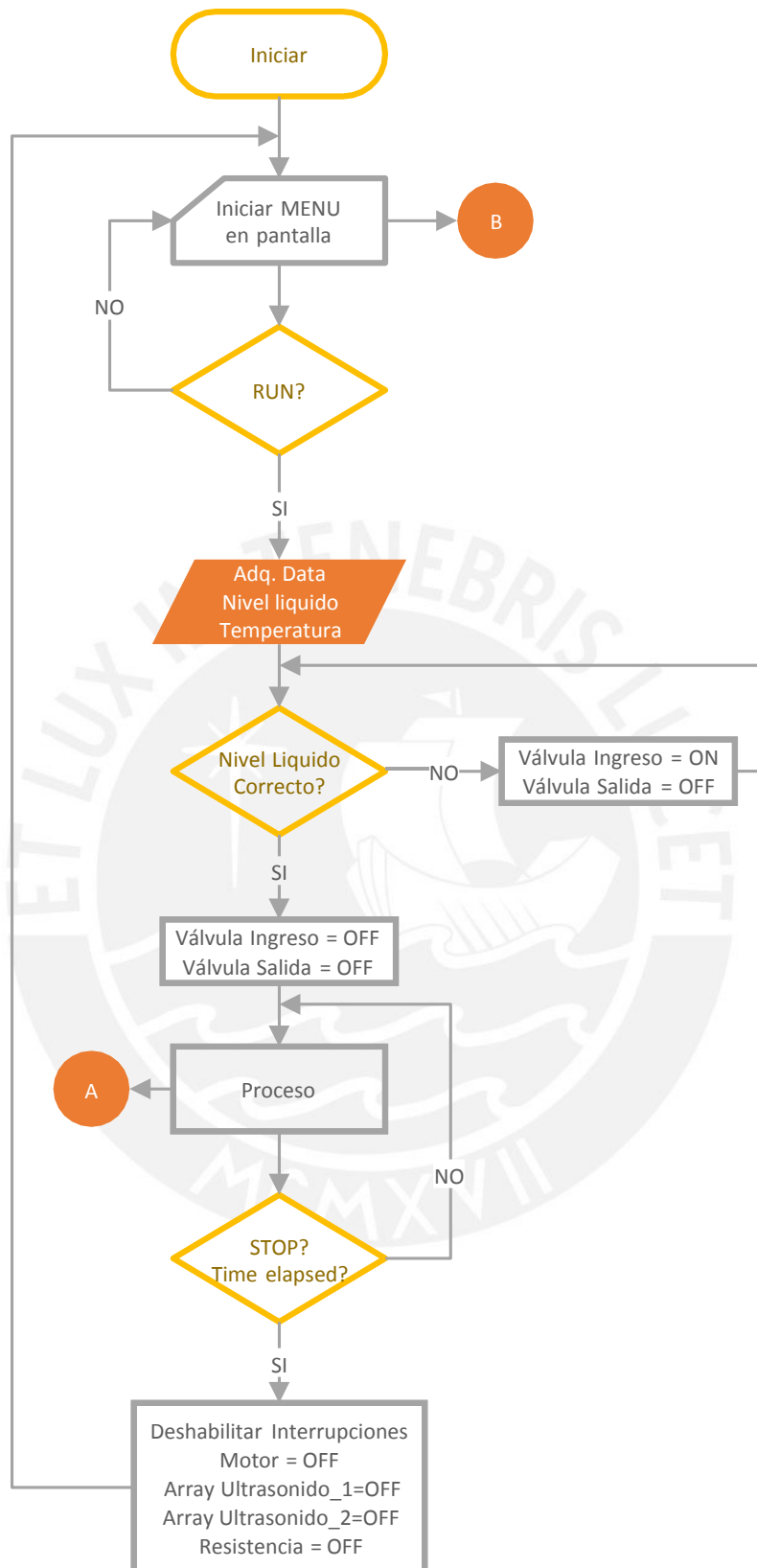


Figura 55. Diagrama de flujo del control de la mini lavadora de fibra de vicuña

Una vez encendido el sistema, se presenta en la pantalla HMI el menú del sistema principal, el mismo que comprende de RUN, STOP y CONFIGURACION de tiempos. Utilizando la botonera de flechas, se puede elegir una de las opciones mencionadas. Si se

elige RUN, el sistema iniciara con el arranque de la mini lavadora, la misma que consiste en adquirir data de los sensores instalados, sobre todo en esta etapa interesa que los sensores de nivel puedan dar información del nivel del líquido de la máquina, para según ello realizar el encendido y apagado de las válvulas de ingreso y salida de líquido.

Una vez que la maquina se encuentre con el nivel de líquido apropiado, procederá a cerrar la válvula de ingreso, e inmediatamente iniciara el Proceso de Control de Temperatura de la mini-lavadora. Para esto, es necesario realizar el control de Temperatura mediante el control de ángulo de disparo sobre una resistencia (calentador); un detector de cruce por cero, conectado a una entrada externa, provoca una interrupción externa, de manera que se identifica como un cruce por zero en la red eléctrica, para que de ese modo se pueda realizar el disparo del ángulo mediante la fórmula citada en los apartados anteriores.

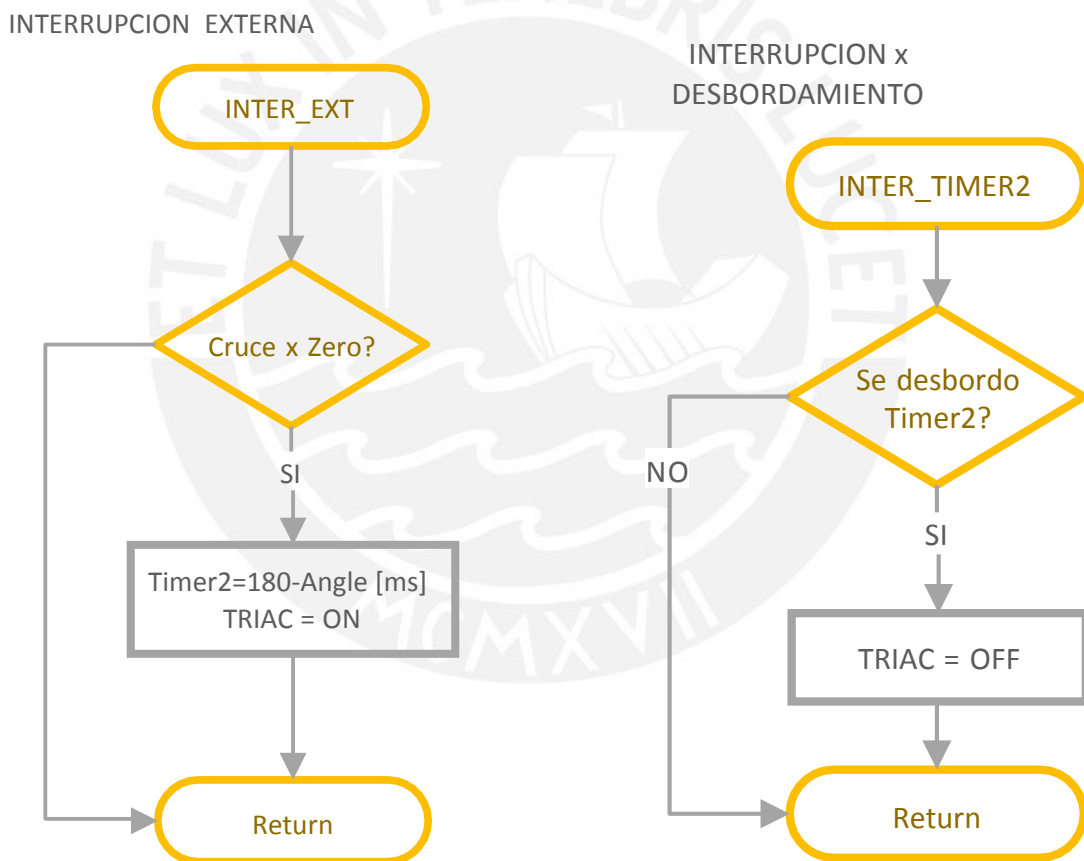


Figura 56. Diagrama de flujo de control de potencia por ángulo de disparo

La figura 50, muestra el circuito que realiza esta función, cuyo procesador principal está basado en el microcontrolador Atmega328P y cuyo programa completo se presenta en el Anexo.

Lo único que se realiza cuando sucede una interrupción externa es cargar el valor de periodo calculado en el bucle principal, expresado en ms, sobre el Timer2. Este Timer2 ha sido configurado para que provoque una interrupción cuando se desborde, al

producirse dicha interrupción se logra desenganchar el TRIAC o ponerlo en modo OFF. El tiempo máximo que dura un semiperiodo de la onda eléctrica es de 8.33ms, por lo que el disparo deberá ocurrir antes de la culminación de dicho tiempo. De lo contrario estará comportándose como si el TRIAC estuviera disparado el ciclo completo de la onda eléctrica.

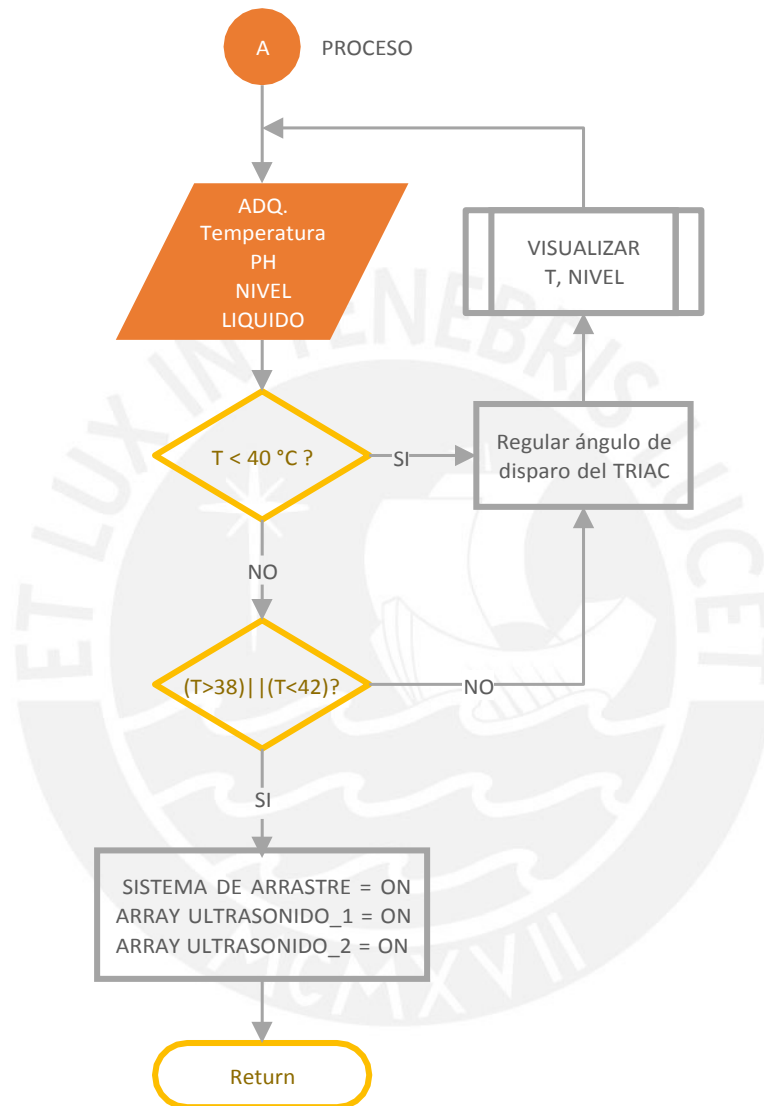


Figura 57. Proceso de control de temperatura de la tina de lavado

En la figura 57, se aprecia el control de temperatura de la planta propiamente dicha; esta misma está basada en un controlador ON/OFF por histéresis como ya se explicó líneas arriba. El sistema tiene una referencia de 40 °C. Mientras el controlador mantiene la temperatura dentro del rango de 38 y 42°C; el sistema de lavado y extracción operara en forma continua, a la vez que el sistema de alimentación y exprimido funcionaran en forma alternada durante el tiempo programado mediante el HMI.

La figura muestra las configuraciones realizadas en el bloque de conmutador analógico y valor umbral, ahí se aprecia que se han cargado los valores 38 y 42 del rango de temperatura mencionado líneas arriba.

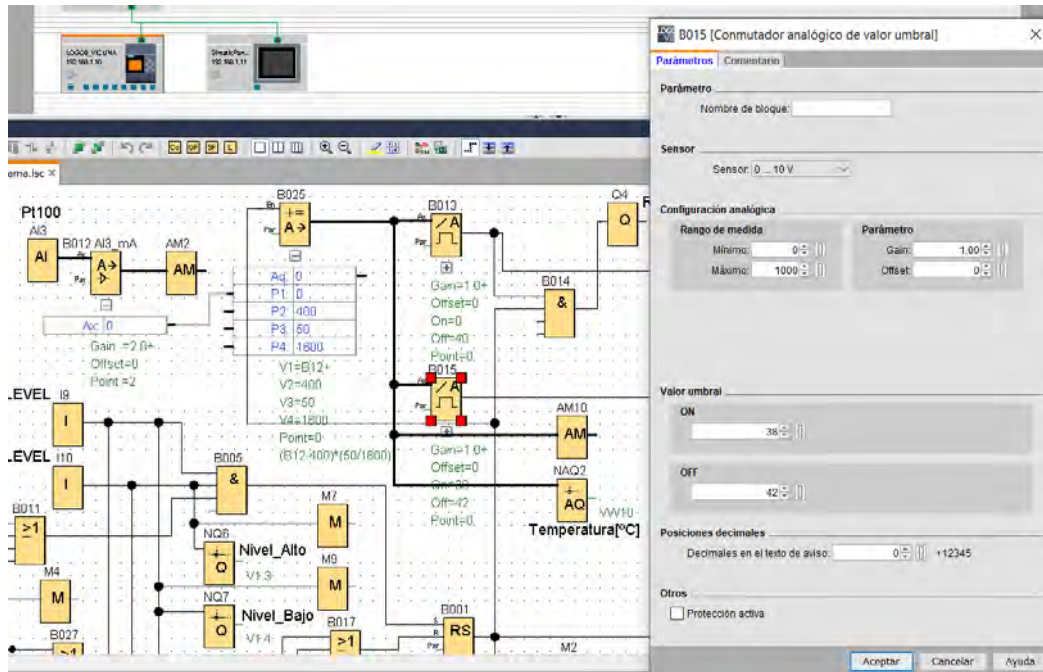


Figura 58. Configuración del conmutador analógico de valor umbral.

Mientras la temperatura del líquido se encuentre en dicho rango, el conmutador analógico de valor umbral sacará un 1 lógico en su salida, indicando que la temperatura se encuentra dentro del rango especificado; el motor M2 (lavado y arrastre de la fibra de vicuña) estará en funcionamiento, así como los transductores de ultrasonido y sus respectivos indicadores, tal como se muestra en la figura siguiente.

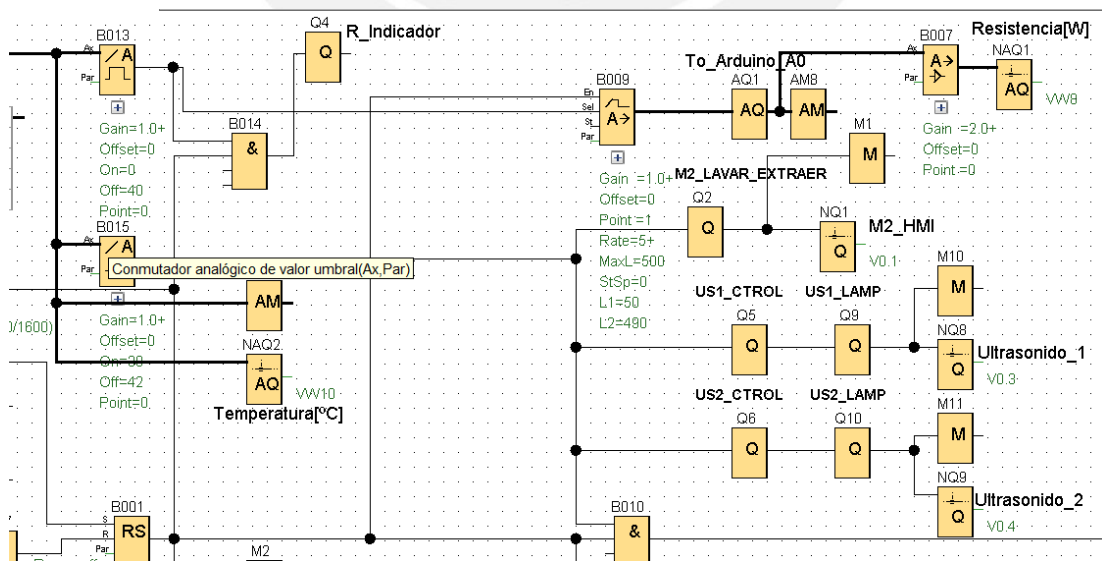


Figura 59. Conmutador analógico de valor umbral activando al motor M2 y controladores de ultrasonido.

En la figura 60, se observa el programa de control de temperatura del líquido contenido en la tina de lavado; el valor del sensor de temperatura es obtenido mediante el módulo de ampliación de entrada analógica (4-20mA) por el canal AI3, el mismo que debe pasar por un bloque amplificador para escalar la variable analógica en el rango deseado (0 a 50 °C), en vista que los PLCs trabajan con valores normalizados de 0 a 1000. Como se muestra en la figura 50, el valor analógico se calcula mediante la ecuación de la recta: $y = mx+b$ de manera que la recta de la gráfica, describe el valor analógico en función del valor normalizado.

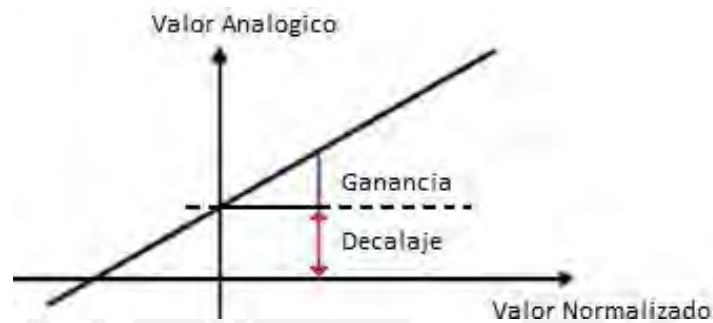


Figura 60. Normalización del valor analógico

Donde, la ganancia corresponde a la inclinación de la recta; así como, el decalaje equivale al decalaje del paso por cero de la recta, en el eje y.

Entonces el valor analógico estará relacionado como:

$$\text{Valor analógico} = (\text{Valor normalizado} \times (\text{Ganancia})) + \text{Decalaje} \dots(3)$$

Realizando los cálculos respectivos para un rango de medida de 0 a 50°C y una entrada de 4-20mA que nos brinda el transmisor de temperatura, se obtiene la siguiente relación matemática:

$$T = (AI3 - 400) \times 50 / 1600 \dots(4)$$

Por lo que el amplificador analógico debe configurarse como sensor de 4 a 20mA y utilizar la función aritmética para ingresar la relación matemática 4, tal como se aprecia en la figura 61.

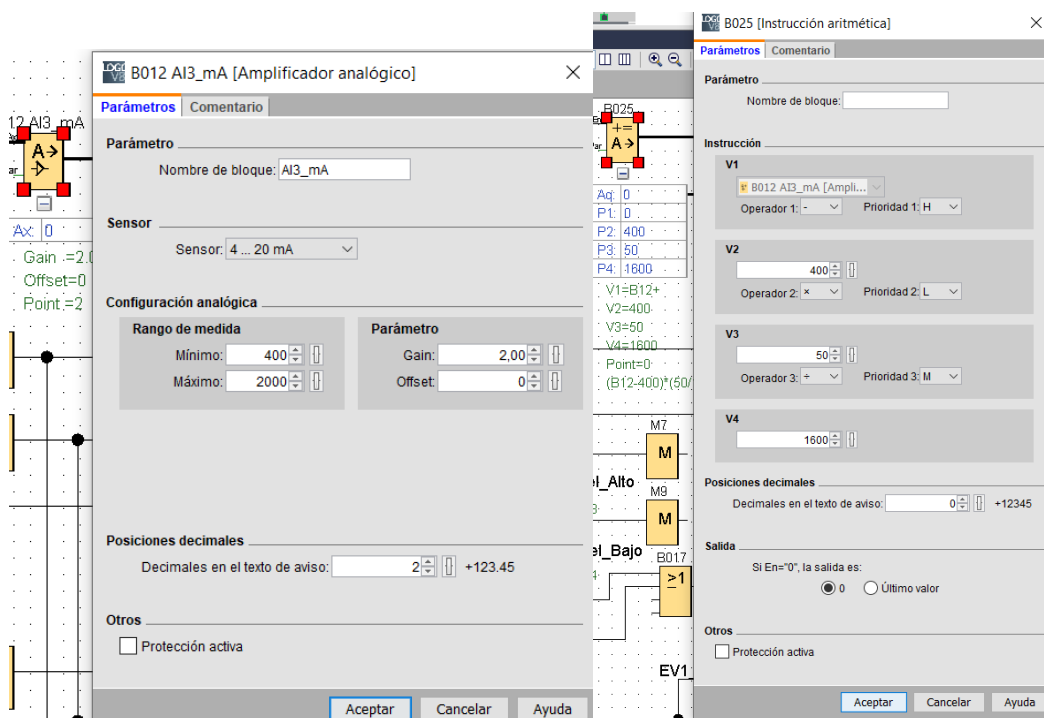


Figura 61. Configuración del bloque Amplificador analógico e Instrucción aritmética, para la normalización del valor analógico de entrada del transmisor de temperatura

La figura 62 muestra el código de programa completo de todo lo anteriormente dicho, así como al lado derecho se observa la generación de señal analógica para el control del setpoint del módulo de control de disparo por ángulo para la regulación de potencia de la resistencia.

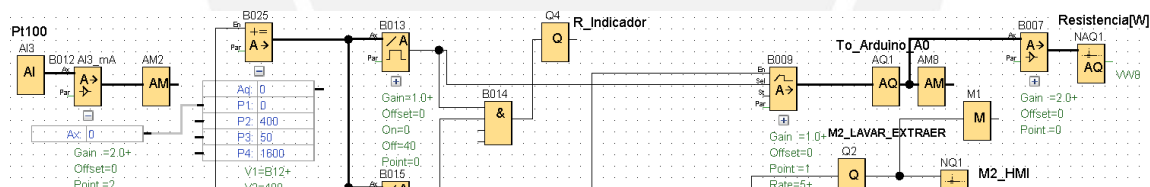


Figura 62. Adquisición de temperatura y control de la potencia de la resistencia

En vista que el microcontrolador ATmega328P soporta tensiones de 0 a 5V, el módulo de ampliación de salida analógica debe ser capaz de normalizar los valores de 0-10V a 0-5V con lo que bastara una división entre 2 para obtener dichos valores, esta tarea se ha configurado en dentro de la función rampa analógica, limitando el valor de salida máxima a 500, a la vez que el cambio en la rampa, ya sea ascendente o descendente, sea cada 5 valores como se puede apreciar en la figura 63. Debe notarse también que el valor máximo que alcanza la salida analógica será de 4.9V, de manera que la resistencia no llegue a actuar en su potencia máxima y así alargar el tiempo de vida de la misma.

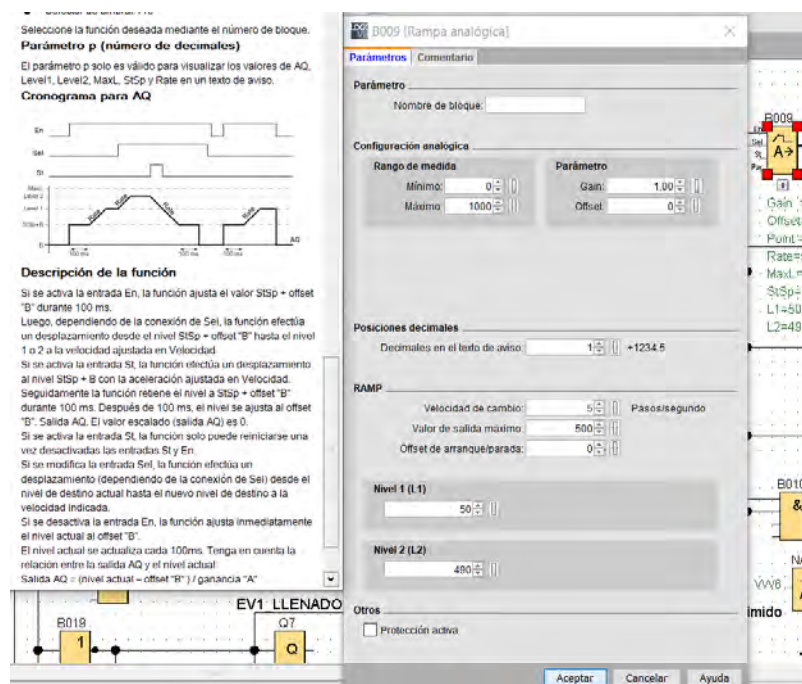


Figura 63. Configuración de la función Rampa analógica

Se ha utilizado la función rampa para que el cambio de la referencia del controlador de potencia sea suave, convirtiendo de ese modo el control ON/OFF en un sistema de control híbrido de salida rampa, con histéresis.

Asimismo, en la figura 59, se visualiza la variable temperatura en la variable de red NAQ2, esto nos permite visualizar el valor de la temperatura sobre el HMI.

Para el encendido de la mini lavadora se ha agregado dos pulsadores para la marcha y dos pulsadores para la parada, los mismos que están colocados en el tablero eléctrico como pulsadores rasantes (rojo y verde), así como también están incluidos en el HMI con las etiquetas RUN y STOP.

En la figura 64, se muestra que el encendido y apagado de la maquina esta realizado mediante un latch RS-B001, que permite estar en modo marcha cuando recibe un 1 lógico en su entrada Set y se pone en modo Parada cuando recibe un 1 lógico en su entrada Reset; dichas entradas están controladas por puertas lógicas OR que combinan tanto los botones de marcha y parada, así como, la lógica de control de llenado y vaciado del líquido-detergente, visto en la figura 52.

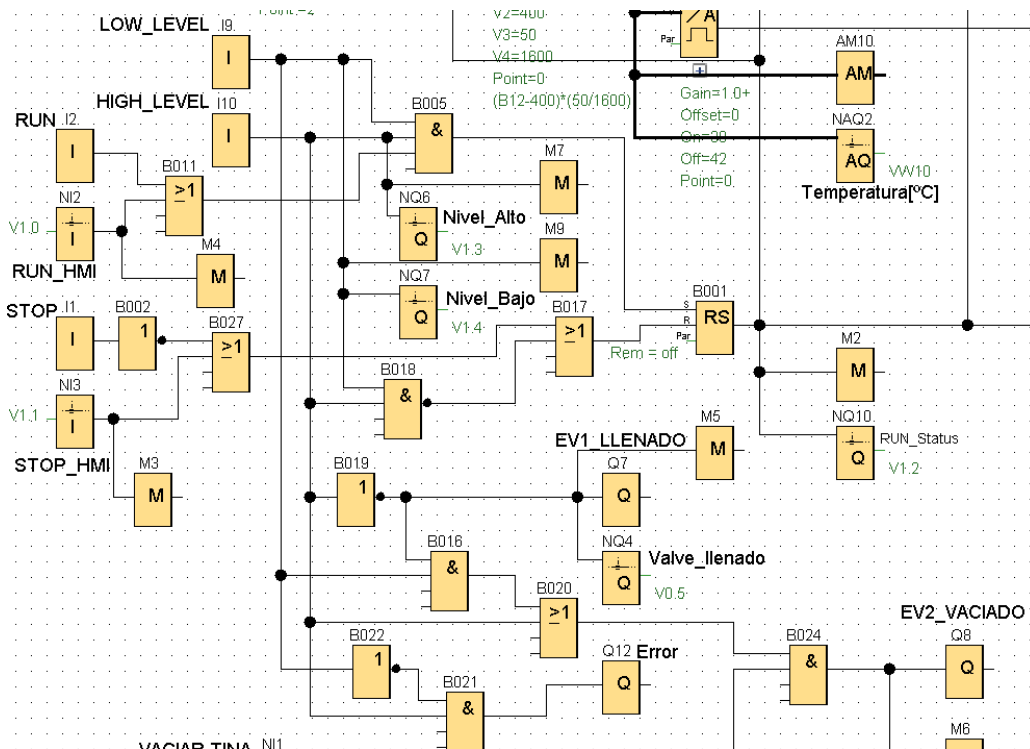


Figura 64. Control de marcha / parada y control de Válvulas de llenado y vaciado

Finalmente, para el control de los procesos de alimentación, lavado-extracción, y exprimido, deben controlarse el encendido de los motor-reductores M1, M2 y M3 respectivamente, aunque ya hablamos sobre el control del motor M2 líneas arriba, así que solo se abordara el control de los motores M1 y M3.

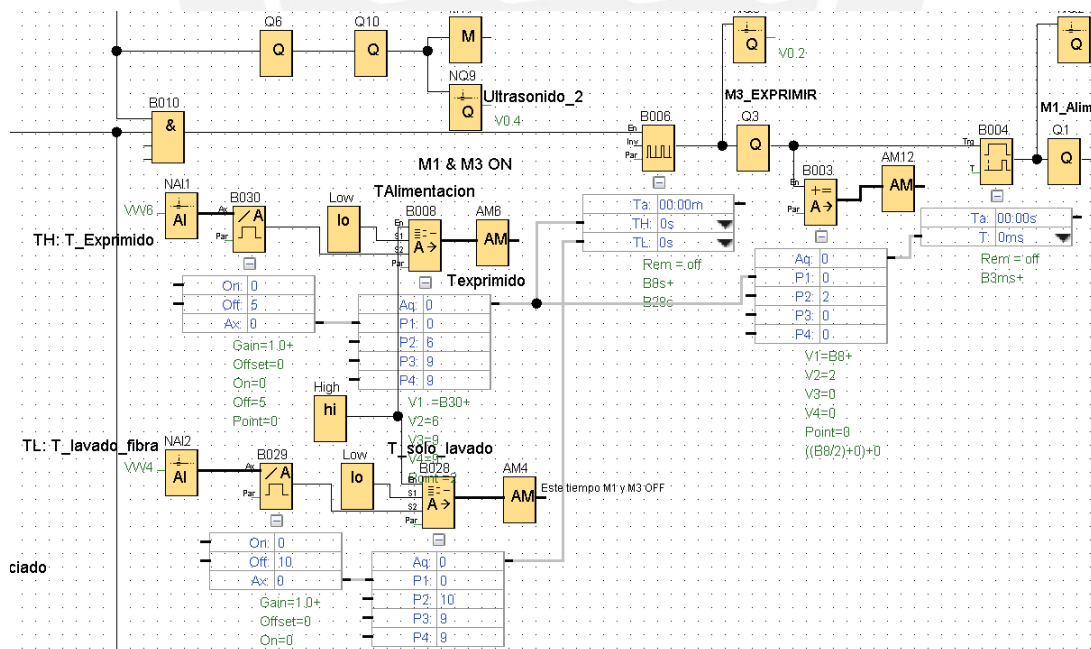


Figura 65. Control de motores de alimentación y exprimido

Los motores M1 y M3 deben ser activados cada cierto tiempo, por lo que se ha habilitado dos entradas de tiempo en la pantalla HMI que sirven para configurar la máquina y establecer el tiempo de alimentación de la fibra de vicuña y exprimido; dichas variables

están mapeadas en las direcciones VW4 y VW6. Este tiempo debe ser ingresado en segundos desde el HMI; indica el tiempo que el Motor M3(exprimidor) estara encendido retirando la fibra de vicuña hacia el contenedor de salida, pasado la mitad del tiempo programado, se enciende el motor M1(alimentador), de manera que ingrese una nueva tanda de fibra de vicuña a la tina de lavado. Mientras y tanto el motor M2(lavado) seguirá funcionando constantemente. Como se puede apreciar también, se ha agregado un bloque de retardo a la conexión antes del motor M1, para que mientras tanto se pueda retirar la fibra de vicuña que estaba siendo lavada.

El programa completo del sistema de control de la mini lavadora de fibra de vicuña, se aprecia en la figura 66.

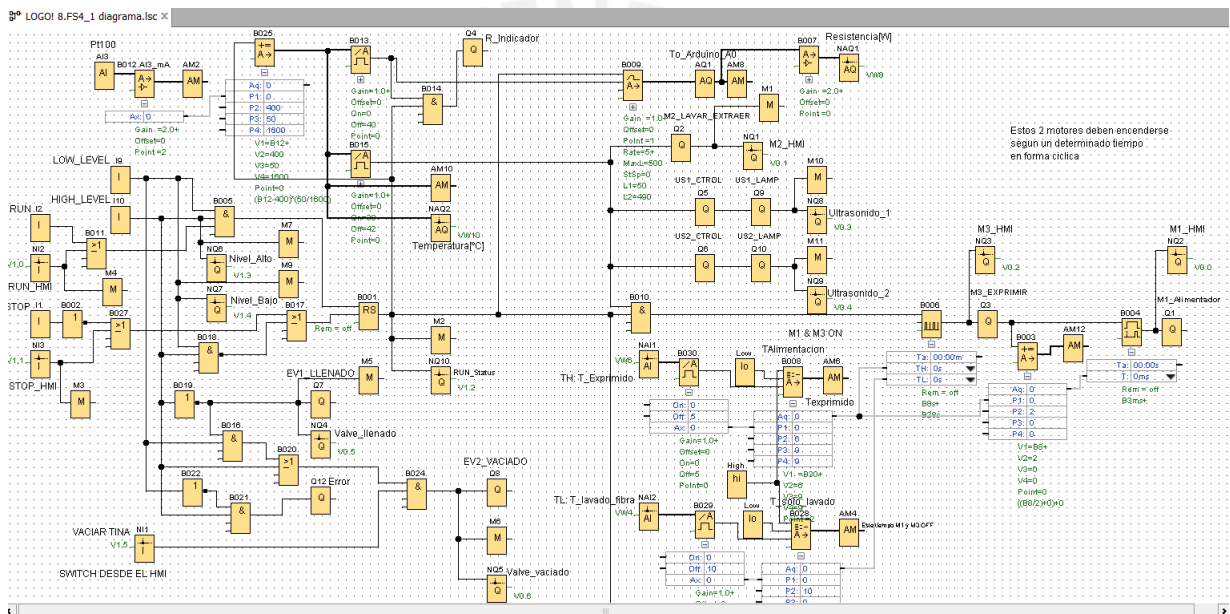


Figura 66. Programa de control de la mini lavadora de fibra de vicuña, basada en el PLC Logo8 de Siemens.

3.2.7.1. Programación del HMI

Para realizar la programación de un HMI, además de realizar la edición de variables, es necesario integrar tanto el PLC Logo8 como el HMI dentro de una red local, de manera que se posible compartir las variables entre sí, tal como se muestra en la figura 67, donde se muestra el proceso de configuración de las direcciones IP: 192.168.1.10 para el PLC Logo 8 y la dirección IP: 192.168.1.11 para el HMI KTP400. Este procedimiento se realiza mediante el software TIA Portal de Siemens y además de ello debe de configurarse las direcciones IP, en forma manual, en cada dispositivo físico.

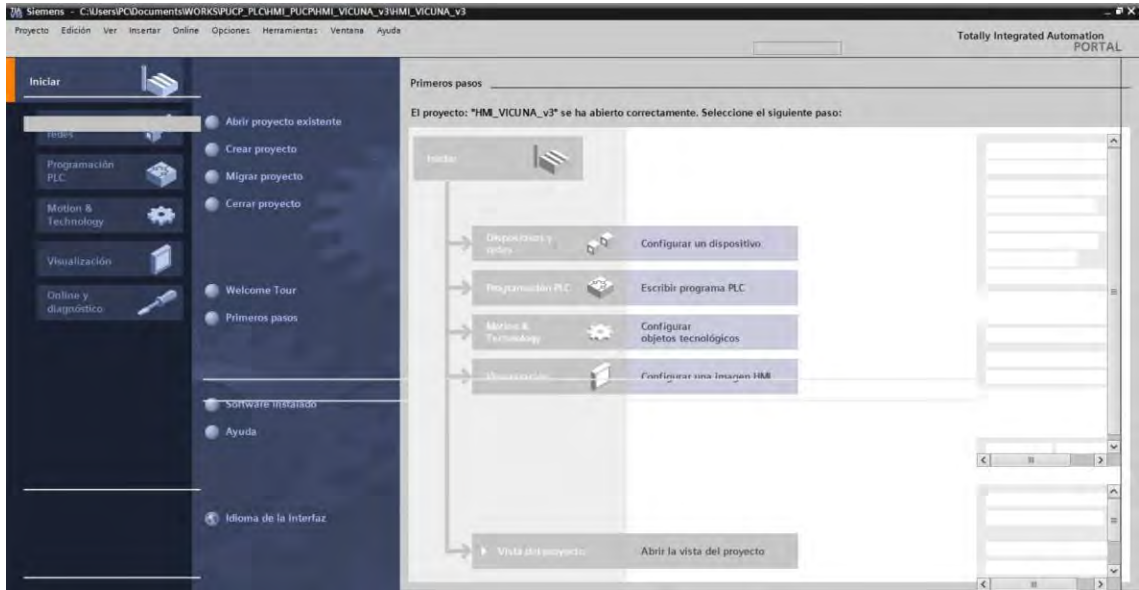


Figura 67. Portada de inicio del software TIA Portal de Siemens

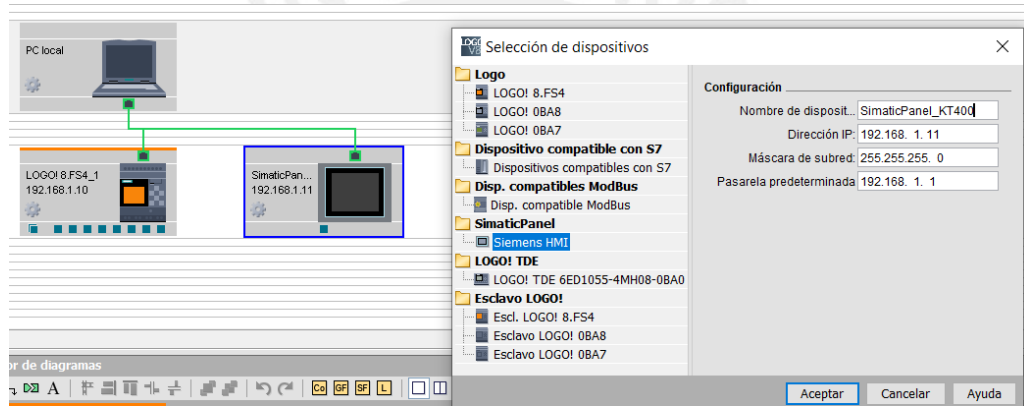


Figura 68. Configuración en red del HMI KTP400

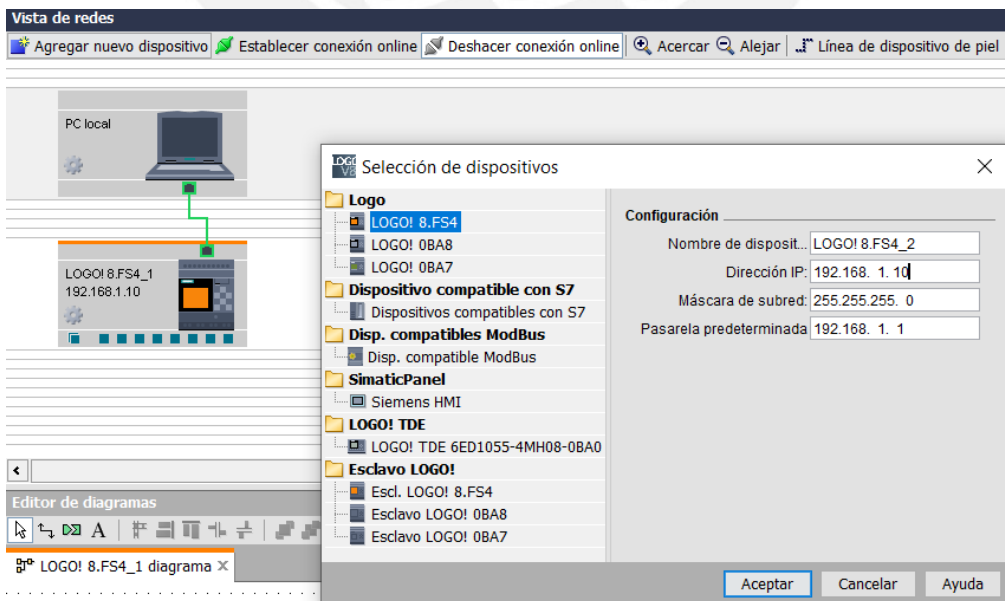


Figura 69. Configuración en red del PLC Logo8.

La figura 70, muestra la conexión física del PLC y el HMI mediante conectores RJ45 a través de un Router/modem, así mismo, debe notarse que el HMI es alimentado con 24V y que el Router posee su propio adaptador de 220V a 12V.

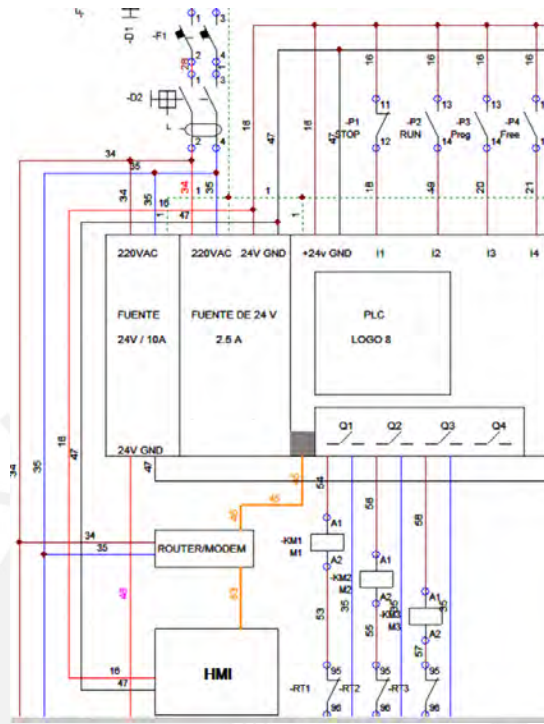


Figura 70. Conexión física en red mediante un router/modem TPLink del HMI KTP400 y el PLC Logo8

Una vez realizada las conexiones y configuraciones de red, la programación de la pantalla HMI se realiza en tres pantallas, de manera que la primera pantalla viene a ser la presentación, navegando con las teclas F4 y F1, es posible acceder a las otras pantallas o intercambiar entre ellas.



Figura 71. Imagen raíz o pantalla de presentación del producto.

En la figura 72, se muestra todas las variables de entrada y salida del proceso controlado, se ha mapeado por duplicado el Pulsador de marcha y parada en el HMI así como en forma física mediante los pulsadores rasantes a modo de redundancia y hacer al control de la maquina más robusto, asimismo se observan los estados de los motores M1, M2 y M3, el estado de los controladores de ultrasonido, la temperatura del líquido-detergente de la tina de lavado, el estado del nivel de líquido, el estado de las válvulas de llenado y vaciado con su respectivo control para el vaciado de la tina; así como, el valor de la potencia entregada a la resistencia de calor, y finalmente las entradas para el ingreso de los tiempos de lavado y exprimido.

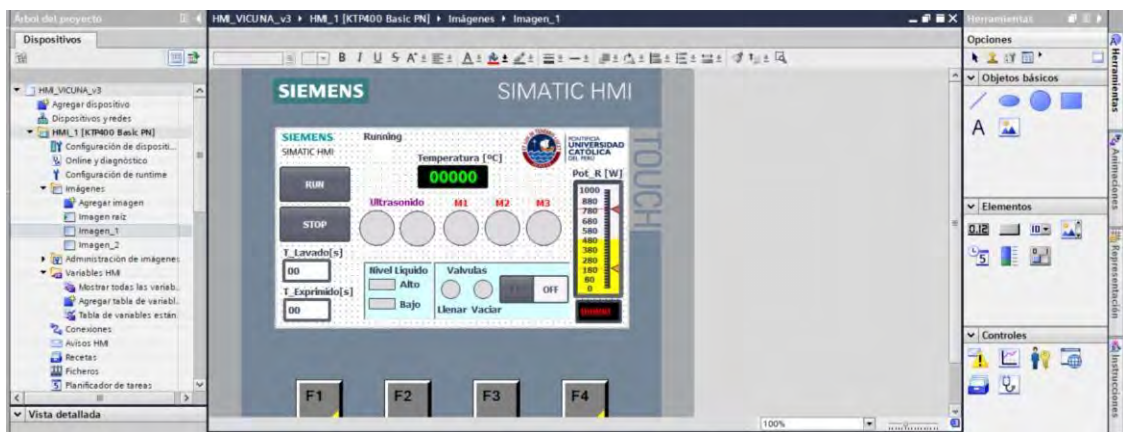


Figura 72. Interface de control de la mini lavadora de fibra de vicuña

Una última pantalla fue agregada, en honor al trabajo realizado de los creadores y diseñadores de esta máquina de lavado de fibra de vicuña.

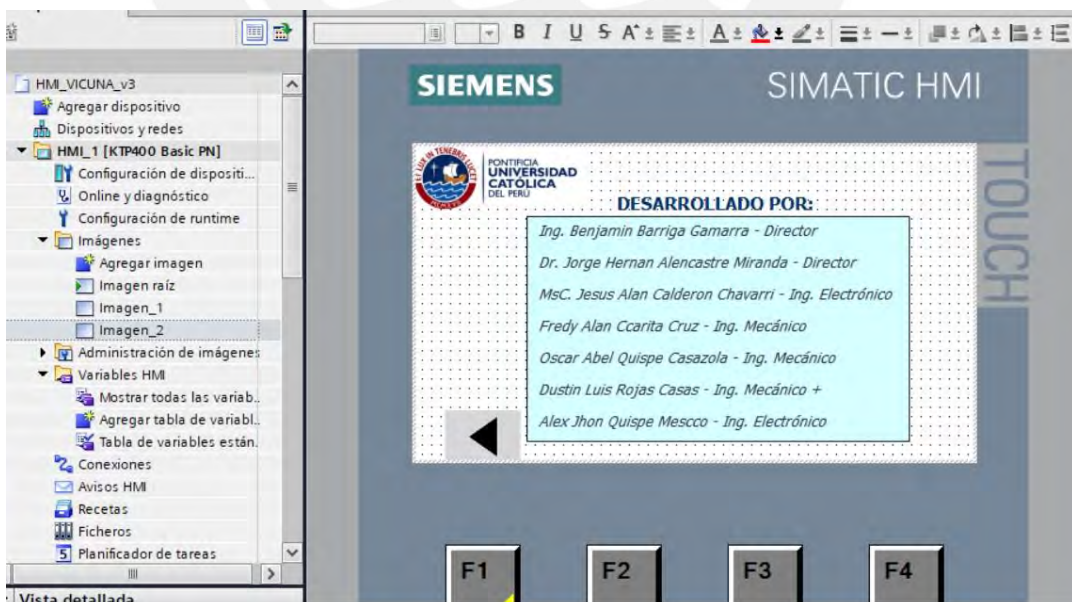


Figura 73. Créditos

A continuación, se presenta la lista de variables mapeadas tanto para el HMI, así como para el PLC Logo8, estas variables comparten sus valores dentro de la red local. Todas las variables utilizadas en el desarrollo de este control, se muestran en la tabla 6.

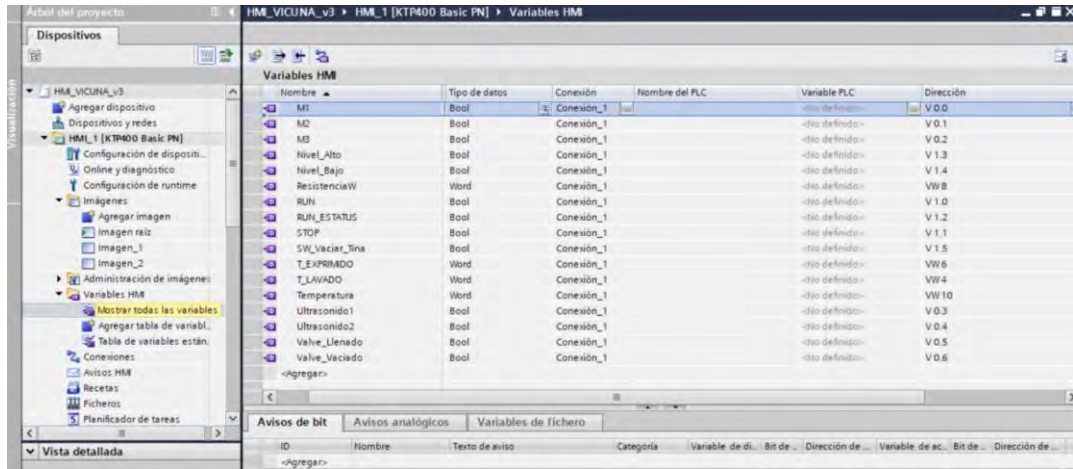


Figura 74. Mapa de variables del HMI

VARIABLES COMPARTIDAS						
NOMBRE	TIPO	CONEXIÓN		DIRECCION		
M1	Bool	Conexión_1		V 0.0	<Acceso absoluto>	1 s
M2	Bool	Conexión_1		V 0.1	<Acceso absoluto>	1 s
M3	Bool	Conexión_1		V 0.2	<Acceso absoluto>	1 s
Ultrasonido1	Bool	Conexión_1		V 0.3	<Acceso absoluto>	1 s
Ultrasonido2	Bool	Conexión_1		V 0.4	<Acceso absoluto>	1 s
Valve_Llenado	Bool	Conexión_1		V 0.5	<Acceso absoluto>	1 s
Valve_Vaciado	Bool	Conexión_1		V 0.6	<Acceso absoluto>	1 s
Free				V 0.7		
RUN	Bool	Conexión_1		V 1.0	<Acceso absoluto>	1 s
STOP	Bool	Conexión_1		V 1.1	<Acceso absoluto>	1 s
RUN_STATUS	Bool	Conexión_1		V 1.2	<Acceso absoluto>	1s
Nivel_Alto	Bool	Conexión_1		V 1.3	<Acceso absoluto>	1 s
Nivel_Bajo	Bool	Conexión_1		V 1.4	<Acceso absoluto>	1 s
SW_Vaciar_Tina	Bool	Conexión_1		V 1.5	<Acceso absoluto>	1 s
Free				V 1.6		
T_LAVADO	Word	Conexión_1		VW 4	<Acceso absoluto>	1 s
T_EXPRIMIDO	Word	Conexión_1		VW 6	<Acceso absoluto>	1 s
ResistenciaW	Word	Conexión_1		VW 8	<Acceso absoluto>	1 s
Temperatura	Word	Conexión_1		VW 10	<Acceso absoluto>	1 s

Tabla 6. Variables compartidas en red del HMI y PLC Logo8

CAPÍTULO 4 IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

4.1 Implementación del Sistema eléctrico

A continuación, se muestra la implementación del sistema eléctrico.

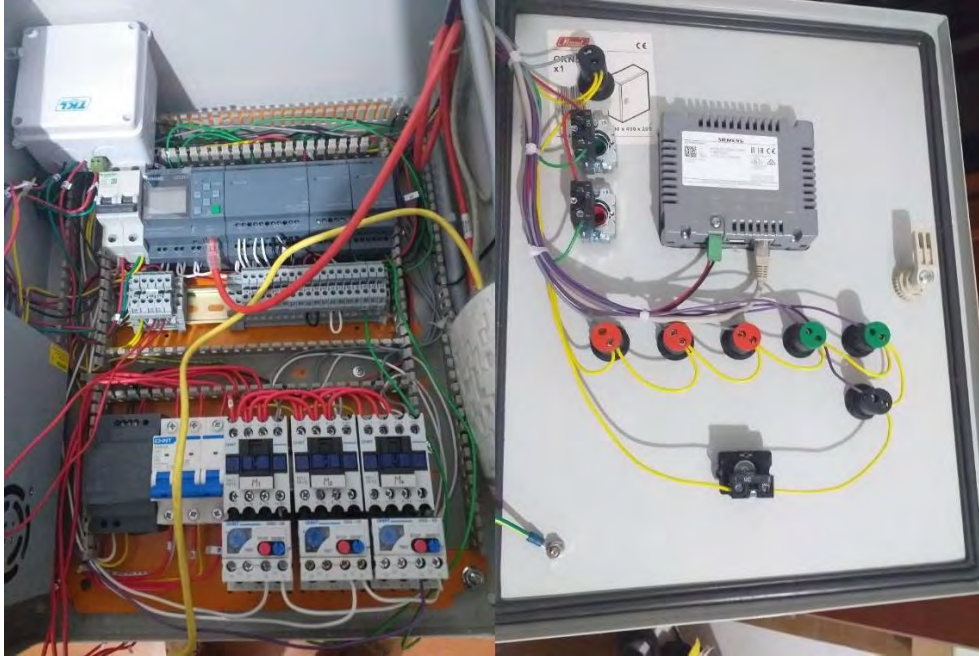


Figura 75. Tablero Eléctrico del sistema de control de la mini lavadora de fibra de viciña



Figura 76. Parte delantera del Tablero Eléctrico del sistema de control de la mini lavadora de fibra de viciña

4.2 Pinout del tablero de control

El tablero esta implementado con borneras, para una fácil instalación, y cuyo pinout se presenta en la figura 77, con sus respectivas conexiones de salida.

PINOUT DEL TABLERO DE CONTROL

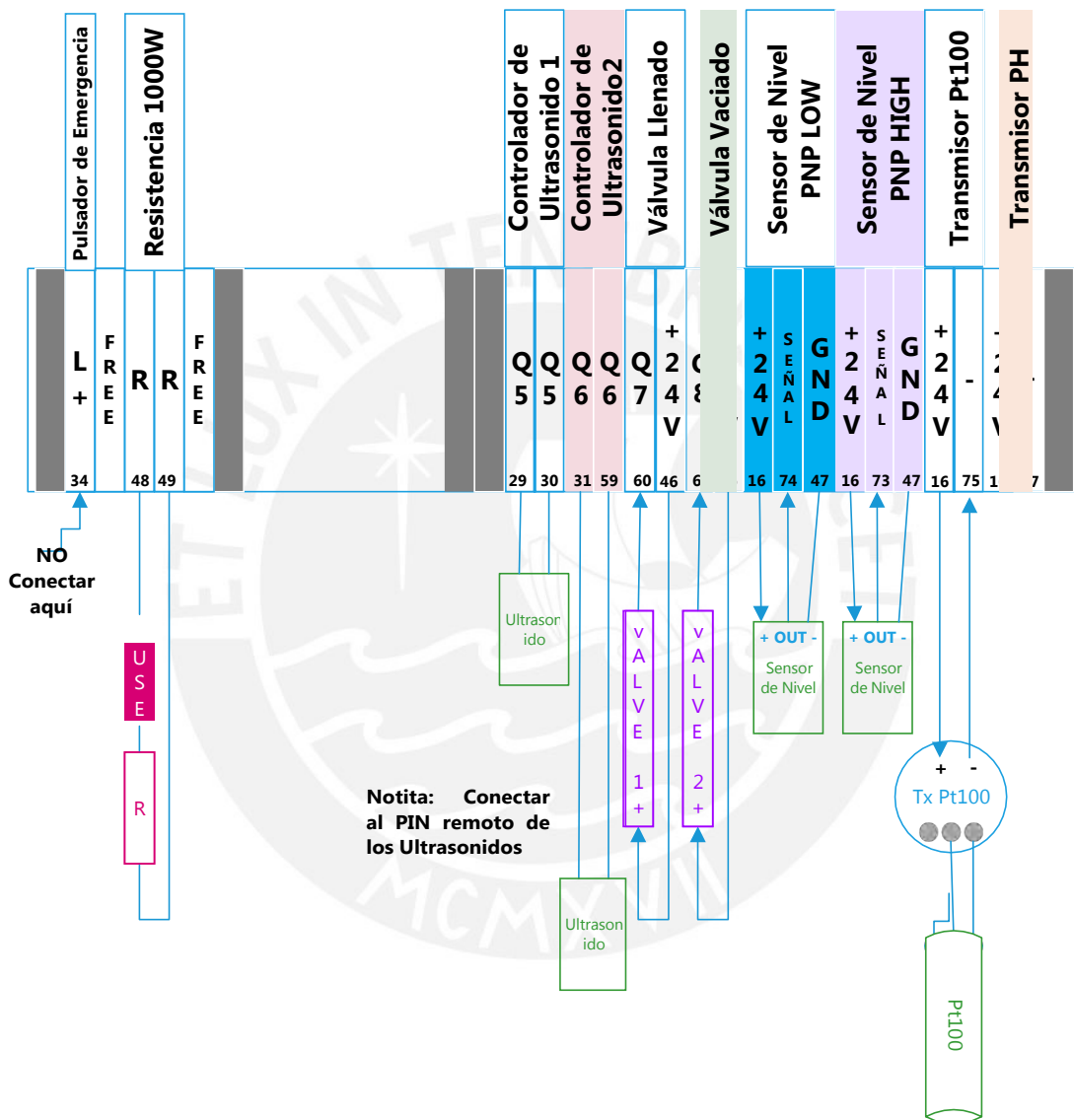


Figura 77. Pinout de las borneras del tablero eléctrico.

4.3 Simulaciones realizadas con los módulos de ultrasonido

La figura 78, muestra la prueba de funcionamiento de los transductores de ultrasonido en la tina de lavado, se puede apreciar cómo se producen las ondas de vibración, producto de la activación de los transductores de ultrasonido a 68KHz.



Figura 78. Prueba de funcionamiento de los transductores de ultrasonido.

4.4 Puesta en marcha del tablero de control.

Para realizar esta prueba, se ha implementad un programa en el PLC Logo8, que se muestra en la figura 79, y que simula la lectura del transmisor de temperatura; para ello se utiliza la salida analógica I2 del módulo de ampliación, esta salida debe ser conectada a la entrada I1 del módulo de ampliación de entrada analógica; asimismo, las líneas 73 y 74 que corresponde a los sensores de nivel alto y bajo deben estar conectados a +24V.

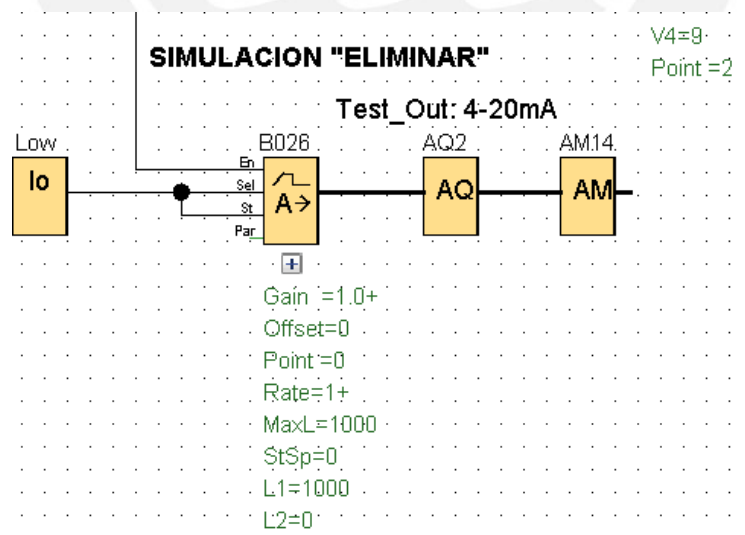


Figura 79. Programa para simular una rampa de 4 a 20 mA

Las pruebas de actuación de la resistencia se realizaron conectando un foco de 220VAC a 100W, mostrándose una variación suave en rampa, como se muestra las figuras. En la

figura 80, se aprecia el circuito antes de la instalación y después de la instalación, como se observa en la esquina superior izquierda.

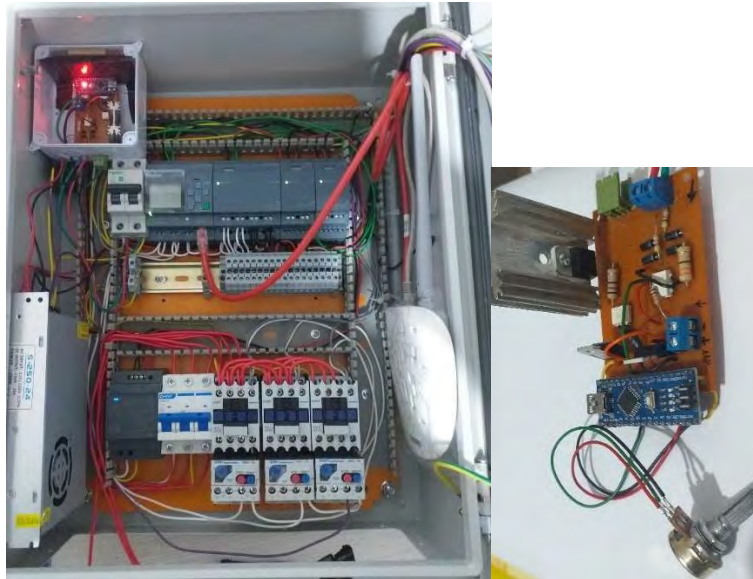


Figura 80. Prueba de circuito de control de disparo por ángulo y el circuito de control antes de la implementación en el tablero de control.

El funcionamiento del circuito de disparo por ángulo, se ha realizado utilizando un foco de 220V/ 100W, tal como se muestra en la figura 81.



Figura 81. Prueba de variación de potencia aplicada a un foco de 100W

Finalmente se realizaron pruebas sobre el HMI tal como se puede apreciar en las siguientes figuras.



Figura 82. Prueba de visualización de la pantalla de presentación de la máquina sobre el HMI

En la figura 83 y 84 se muestra que el HMI visualiza y responde correctamente a la presión del pulsador RUN.



Figura 83. Pantalla de control principal de la mini lavadora de fibra de vicuña

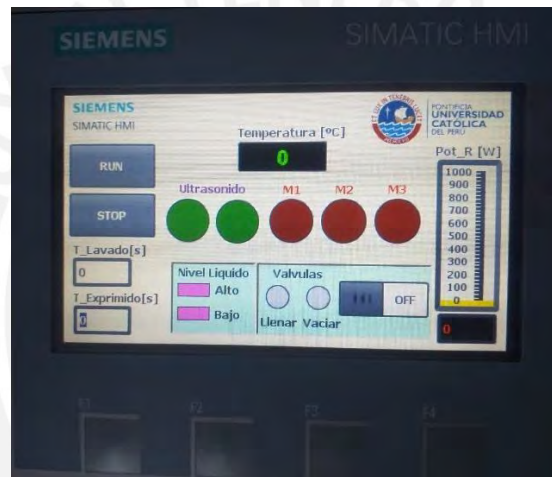


Figura 84. Ampliación de la pantalla de control principal de la mini lavadora de fibra de vicuña

CAPÍTULO 5 ESTIMACION DE COSTOS

En este capítulo se presenta una estimación aproximada de los costos realizados en lo que respecta al diseño e implementación del sistema de control y sus componentes.

5.1 Estimación de costos

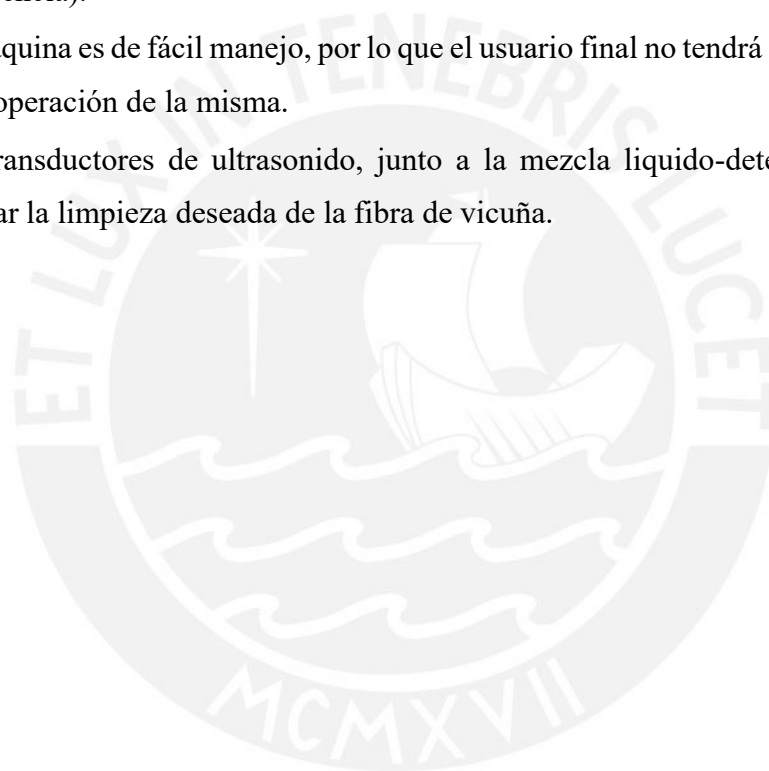
En la tabla siguiente se detalla los componentes utilizados para la elaboración de este trabajo y los utilizados en la implementación de la máquina de limpieza de fibra de vicuña

Item	Descripcion	Codigo	Cantidad	P. U.	P.T.
1	PLC LOGO 8 12/24 RCE Módulo lógico	12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0	1	800	800
2	FUENTE DE 24v/2.5A	POWER 24V 2,5A - 6EP3332-6SB00-0AY0	1	450	450
3	FUENTE DE 24v/10A	Universal	1	80	80
4	DI/DO(rele) 8 CH	DM16 24R - 6ED1055-1NB10-0BA2	1	400	400
5	Ampliacion de modulo AI 2CH	AM2 - 6ED1055-1MA00-0BA2	1	350	350
6	Ampliacion de modulo AO 2 CH	AM 2 AQ - 6ED1055-1MM00-0BA2	1	320	320
7	HMI	Siemens KTP400 Basic PN - 6AV2123-2DB03-0AX0	1	1300	1300
8	Logo Soft	Soft Comfort V8.2 - 6ED1058-0BA08-0YA1	1	200	200
9	TABLERO	500x400x200 mm, "RITTAL"	1	250	250
10	SENSORES DE NIVEL CAPACITIVOS	24v tipo PNP	4	40	160
11	Contactora	trifasico 380VAC, bobina 220VAC, (1KW)	3	100	300
12	MODEM ROUTER	TP-link Modem Router Adsl2 4 Puert Lan Wifi 300m Td-w8961n	1	200	200
13	ELECTROVALVULAS 2/2, 24 V	de media G1/2	2	150	300
14	LAMPARAS INDICADORES	220VAC, ROJO	3	5	15
15	LAMPARAS INDICADORES	220VAC, VERDE	2	5	10
16	LAMPARAS INDICADORES	220VAC, AMARILLO	2	5	10
17	PULSADOR HONGO DE EMERGENCIA		1	20	20
18	PULSADOR METALICO RASANTE ROJO NC	ROJO	1	10	10
19	PULSADOR METALICO RASANTE VERDE NA	VERDE	3	10	30
20	Variador de frecuencia	Trifasico 380VAC para motor de 0.75KW	1	1500	1500
21	Memoria SD 16GB CAT. 10		1	30	30
22	Interruptor diferencial trifasico	30mA, 380V	1	50	50
23	Interruptor diferencial monofasico	30mA, 220V, 25A	1	40	40
24	Magnetotermico	Trifasico 32A /380VAC	1	50	50
25	Magnetotermico	Monofasico 220V AC, 16A	1	40	40
26	Rele termico	Configurable 1 a 4.5A	3	150	450
27	Carril DIN (perfil)	2 metros	1	15	15
28	Canaleta para tablero industrial	1 unidad	1	30	30
29	cable rojo	TICINO multifilar AWG14 (rollo de 100m)	1	120	120
30	cable negro	TICINO multifilar AWG14 (rollo de 100m)	1	120	120
31	cable marillo/ verde tierra	TICINO multifilar (rollo de 10m)	1	40	40
32	cable naranja,negro, rojo, blanco	multifilar AWG 20 o 18 (rollo de 100m)	1	100	100
33	puntera	6mm marron (caja de 100 unidades)	1	10	10
34	puntera	6mm verde (caja de 100 unidades)	1	10	10
35	puntera	4mm gris (caja de 100 unidades)	1	8	8
36	puntera	2.5mm negro (caja de 100 unidades)	1	8	8
37	pelacables y prensaterminales	herramienta completa	1	45	45
38	borneras	color gris (100 unidades)	1	60	60
39	borneras	color amarillo - verde para tierra (12 unidades)	1	30	30
40	caja repartidor		1	10	10
41	topes para borneras	(10 unidades)	1	25	25
42	toma de corriente industrial trifasico		1	80	80
43	Transformador de 380/220 VAC		1	250	250
					8326

Tabla 7. Lista de Componentes e insumos.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado realizar el control de potencia de la resistencia (calentador del líquido-detergente de la tina de lavado).
- Se ha reemplazado todos los componentes electrónicos por componentes industriales como el HMI y el PLC Logo8, que permiten agregarle robustez al sistema de control, convirtiendo a la mini-lavadora de fibra de vicuña, en una máquina de tipo industrial.
- Se ha logrado controlar la temperatura mediante el control ON/OFF con histéresis y variación de tipo rampa, para un cambio suave en el actuador de potencia (resistencia).
- La máquina es de fácil manejo, por lo que el usuario final no tendrá inconvenientes en la operación de la misma.
- Los transductores de ultrasonido, junto a la mezcla líquido-detergente, logran realizar la limpieza deseada de la fibra de vicuña.



RECOMENDACIONES

- Es posible realizar una mejora adicional a la maquina respecto al manejo, pudiendo agregarse el control mediante un web server, para el control desde un Smartphone, sin necesidad de agregarle hardware adicional.
- Asimismo, es posible controlar la maquina en forma remota, siempre y cuando se disponga de una conexión a internet y se realicen las configuraciones adicionales.
- Se recomienda utilizar Transductores de ultrasonido de 40KHz y del tipo sumergibles para un mantenimiento más rápido y seguro.



BIBLIOGRAFÍA

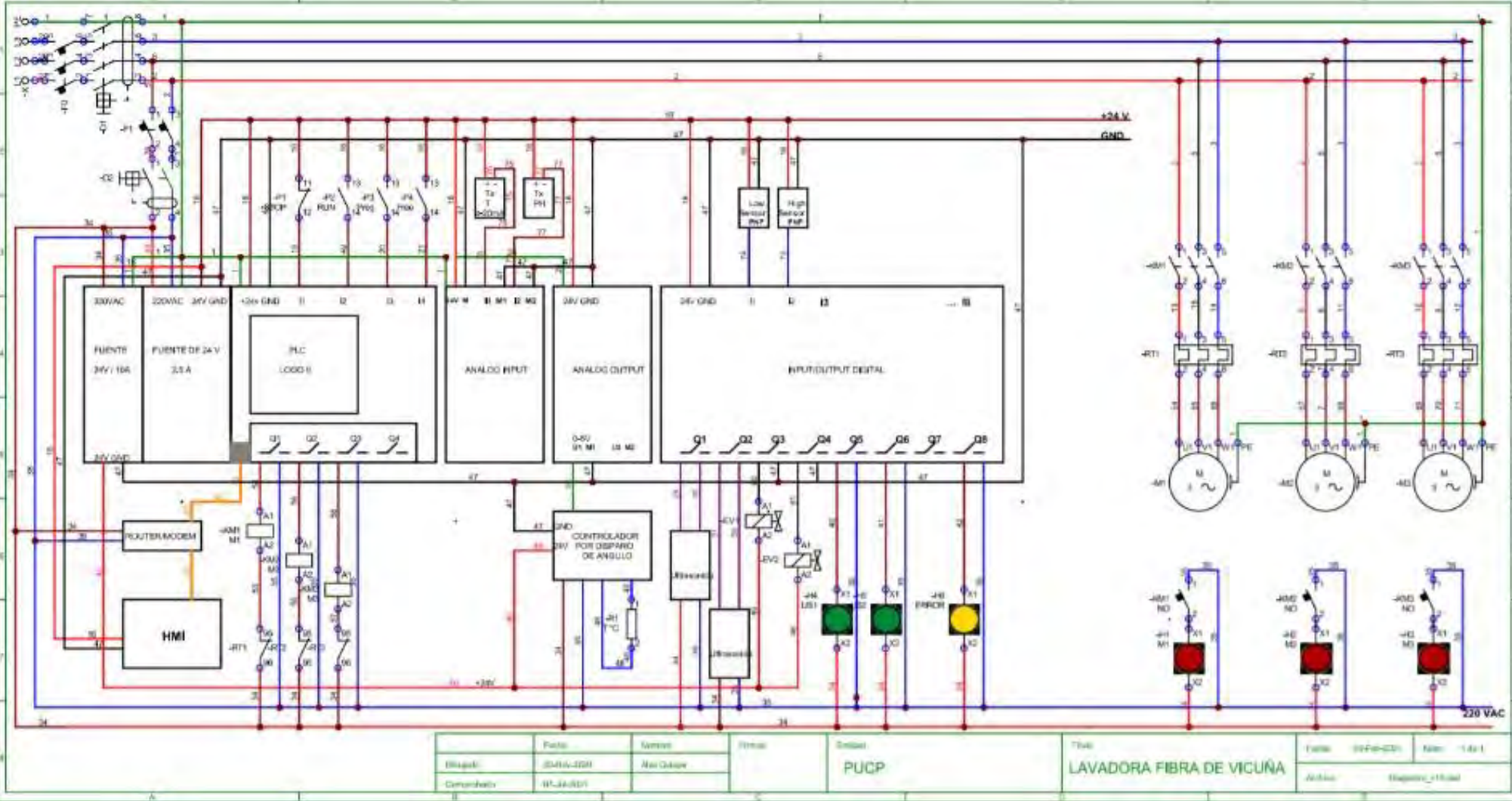
- [1] Adquisidor de datos ultrasónicos de baja y mediana frecuencia, EDSON IGOR YUPANQUI ALIAGA. Pontificia Universidad Católica del Perú
- [2] Loyola Sarmiento, Francisco Andrés. (2014). Desarrollo de exitador sintonizado de ultrasonido. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 72 pp + Anexos.
- [3] ESTUDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA DE ALPACA GRASIENTA Y DE LAS CONDICIONES DE SU PROCESO DE LAVADO, ANIA IBHET ROSAS ESPEJO – UNI Ingeniería Textil
- [4] Ultrasonic Cavitations Research in Thin Flowing Liquid Layer P. Vasiljev, A. Struckas, S. Borodinas, A. Rotmanas. Lithuanian University of Educational Sciences, Physics and Technology Faculty, The Laboratory of Ultrasonic Mechanisms, Studentu st. 39, Vilnius 08106, Lithuania
- [5] Caracterización de la producción de fibra de vicuña (*Vicugna vicugna*) en la Región Cusco, Perú. Joel Pacheco C.^{1,3}, Víctor Vélez M.¹, José Angulo-Tisoc I., Sergio Pezo C.¹, Henry Castelo O.². (1) Centro de Investigación IVITA, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Marangani, Perú. (2) Proyecto de Manejo de Vicuñas, Gobierno Regional del Cusco, Octubre del 2018, Perú.
- [6] Evaluación de la calidad y rendimiento de fibra clasificada y descordado de vicuña (*Vicugna*) criadas en condiciones de semicautiverio en Patacamaya. Nancy Isabel Tarqui Cocarapi.
- [7] Apuntes del curso de Metodos de diseño en Ingeniería Mecatrónica, Benjamin Barriga Gamarra (PUCP-2019)
- [8] https://www.serfor.gob.pe/historias_bosque/fibra-de-vicuna-del-cusco-al-mundo.

- [9] NORMA TECNICA PERUANA NTP 231.352 (2013) Fibra de Vicuña: Limpieza, embellonado y rotulado.
- [10] Apuntes del curso de modelamiento y simulación de sistemas. Dr. Ing. Eddie Sobrado Malpartida. (PUCP-2019).
- [11] Roberto J. Lavarello Montero. (2013). Adquisidor de datos ultrasónicos de baja y mediana frecuencia. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 49 pp.
- [12] *Qing Li1, Cailing Ding2, Hengxing Yu2, Christopher J. Hurren1 and Xungai Wang. Adapting ultrasonic assisted wool scouring for industrial application. Textile Research Journal 2014, Vol. 84(11) 1183–1190.*
- [13] Requena Cardenas, Jaime; Zaravia Apacclla, Wilmer. Rendimiento al lavado de la fibra clasificada de alpaca huacaya (Vicugna pacos). Universidad Nacional de Huancavelica.
URI: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3196>. Fecha: 2019-12-20
- [14] Natalia Pianzola (2014), BBC News Mundo.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/09/140923_ciencia_vicunas_lana_mas_cara_secreto_exito_np#:~:text=%22Las%20vicu%C3%B1as%20tienen%20unos%20ojos,la%20conservaci%C3%B3n%20de%20esta%20especie.

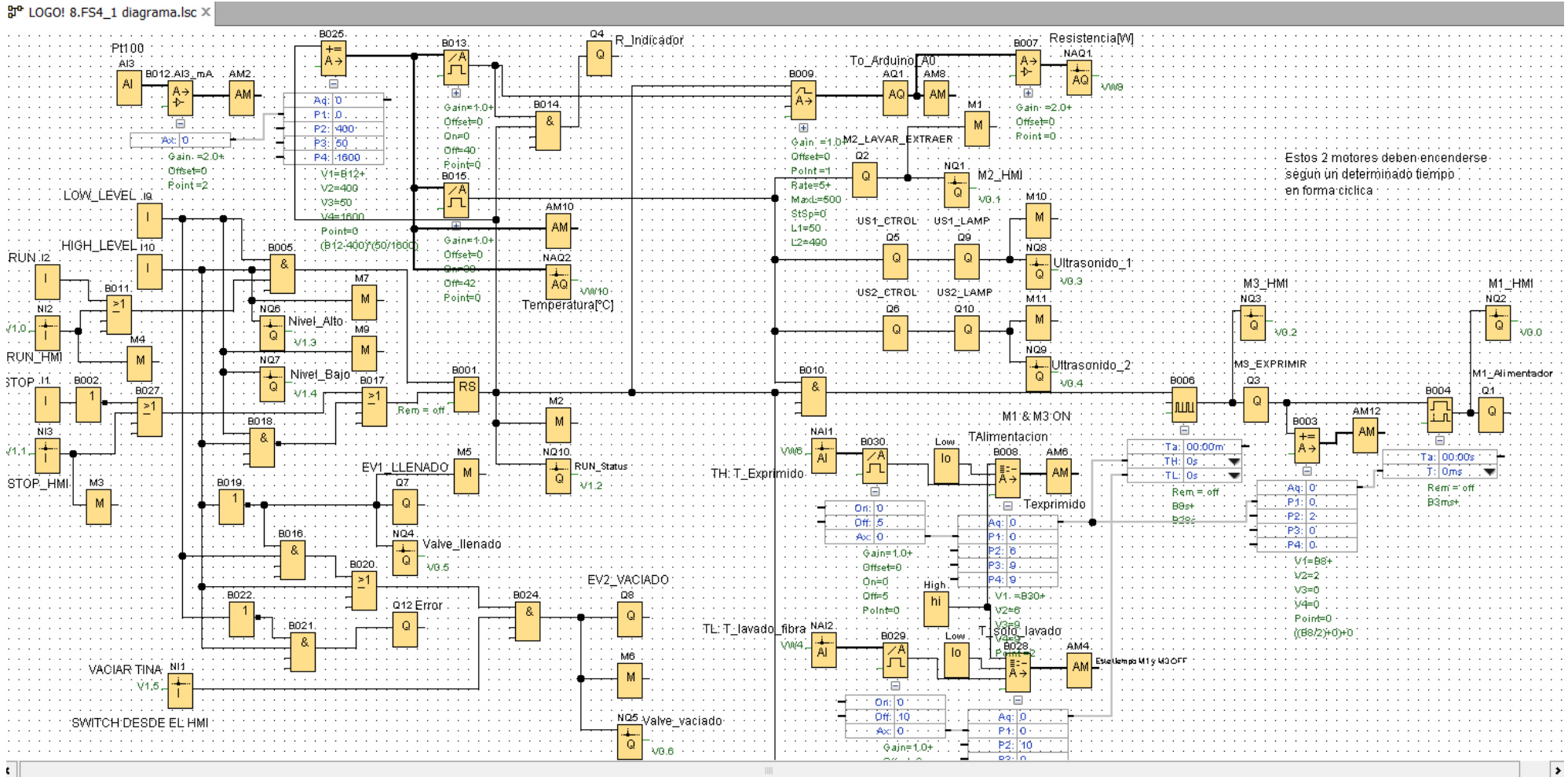
ANEXOS



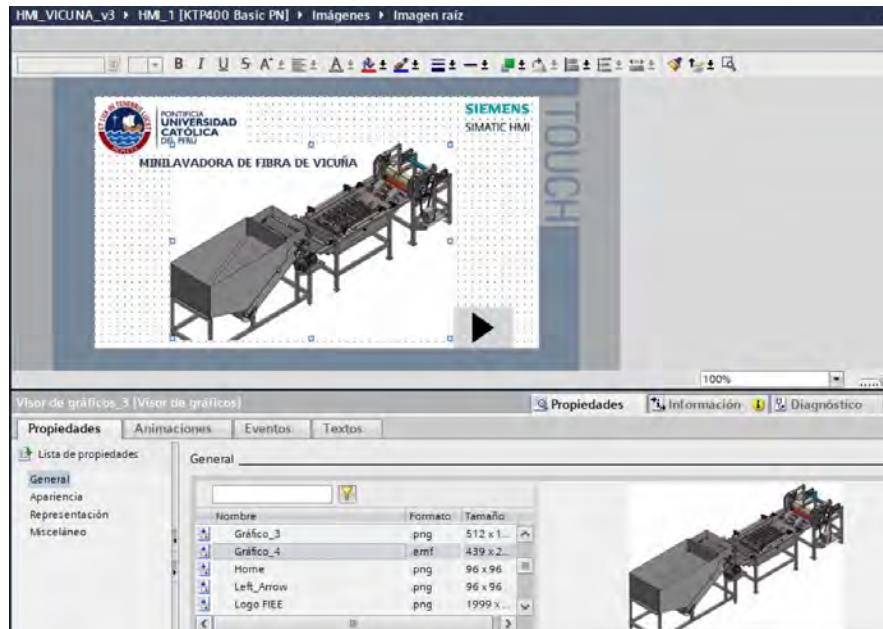
ANEXO A: DIAGRAMA ELECTRICO



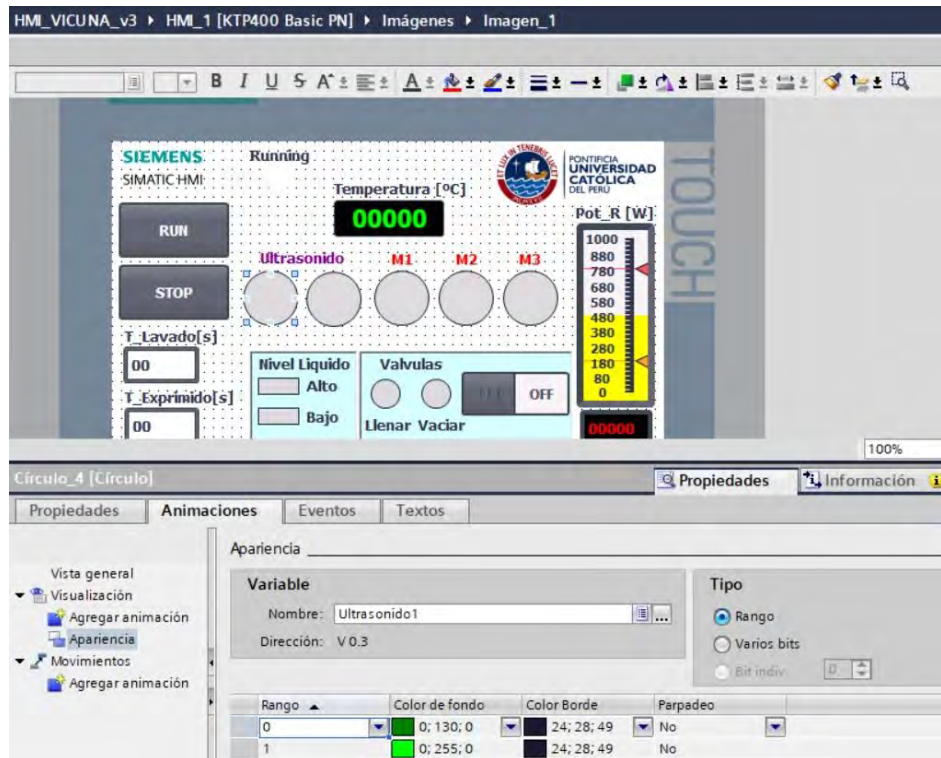
ANEXO B: CODIGO DE PROGRAMA DEL PLC LOGO8



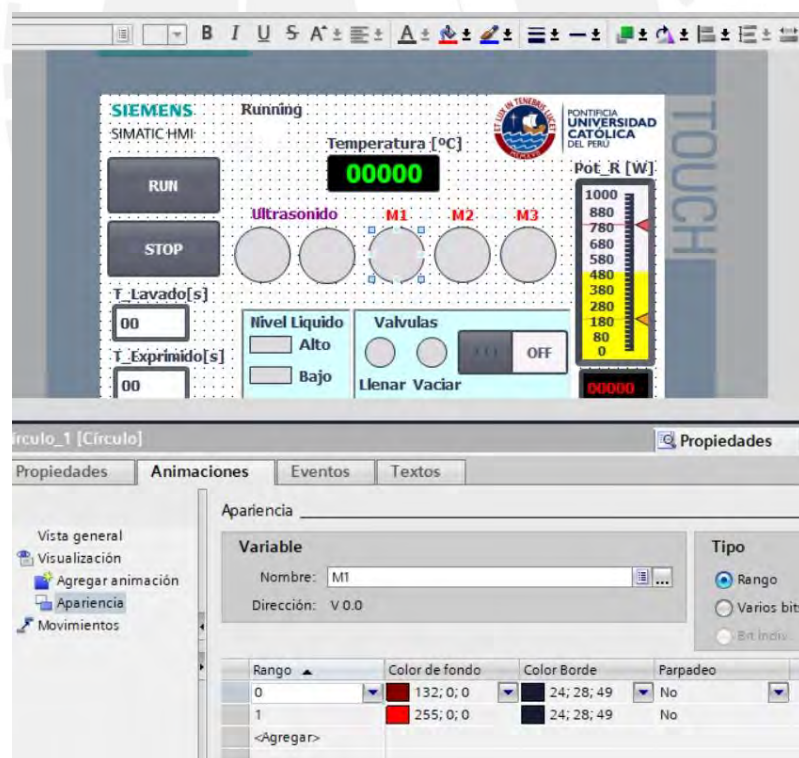
ANEXO C: CONFIGURACION DE VARIABLES DEL HMI



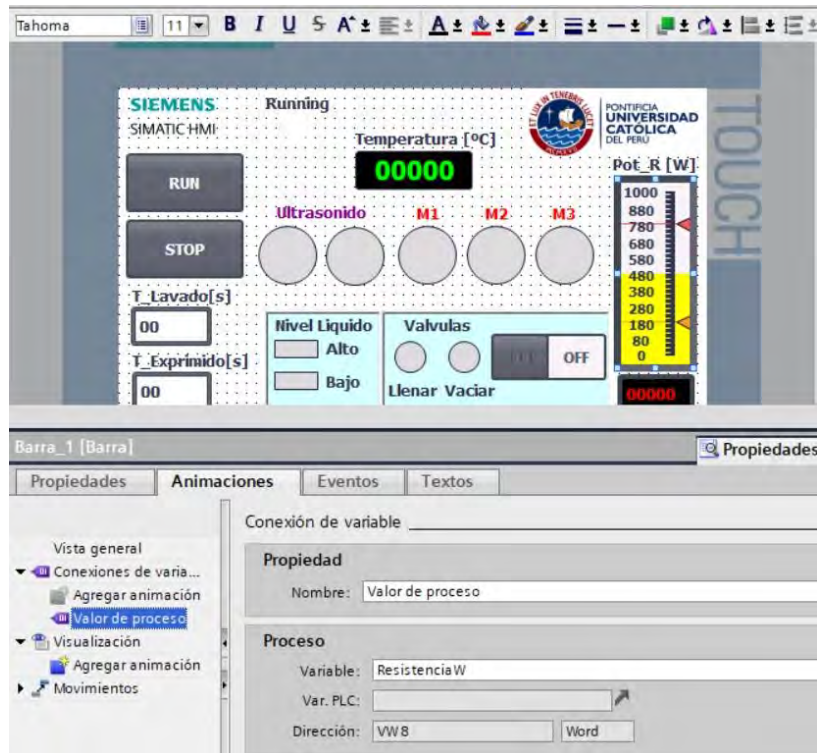
Configuración de la imagen de inicialización
Configuración del Botón RUN



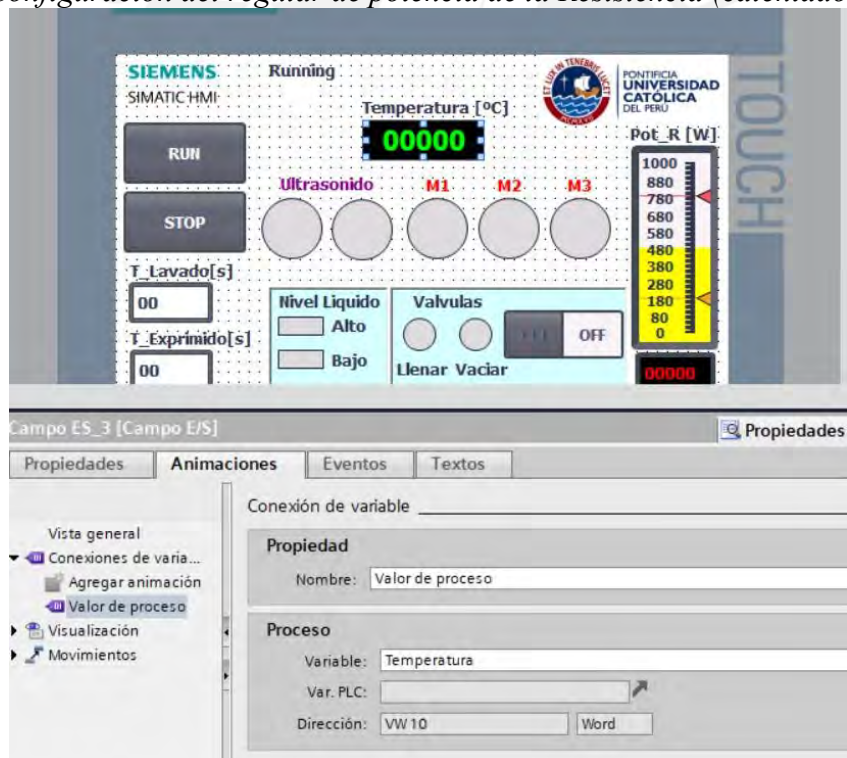
Configuración del indicador de funcionamiento del controlador de Ultrasonido 1



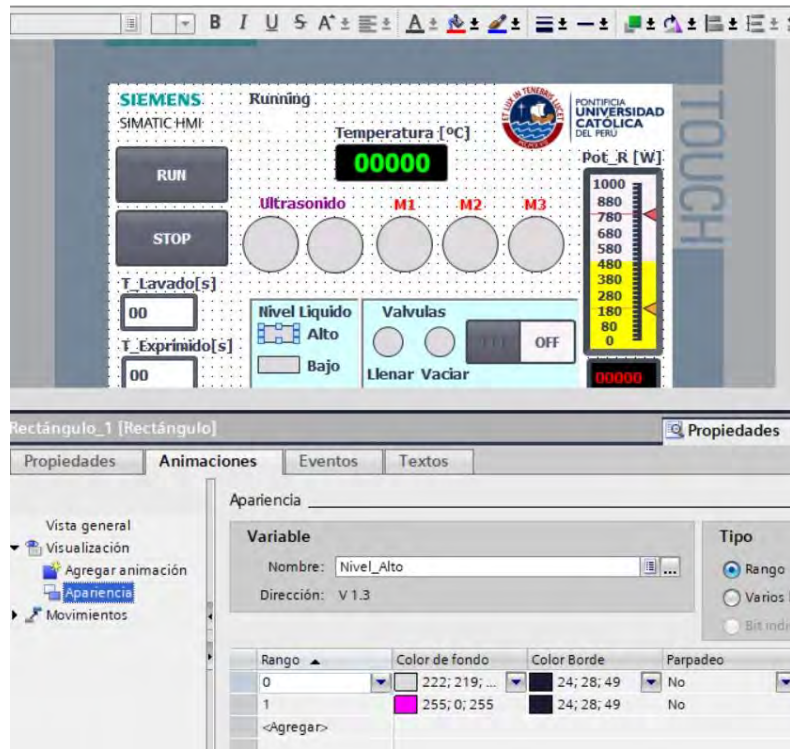
Configuración del indicador de funcionamiento del Motor M1 (alimentación)



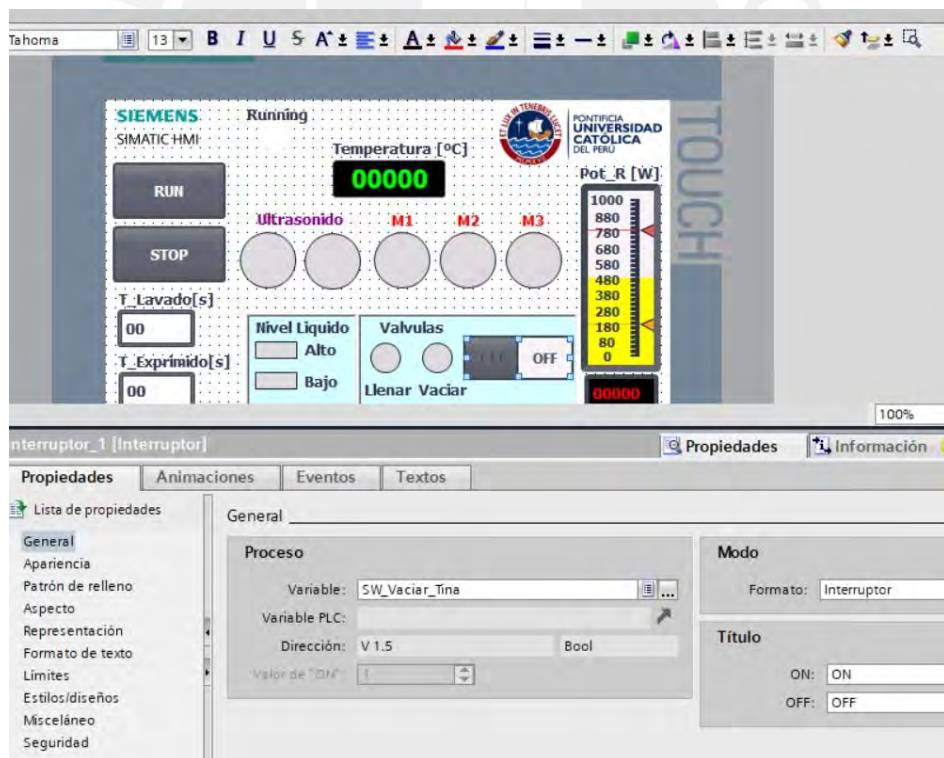
Configuración del regular de potencia de la Resistencia (calentador)



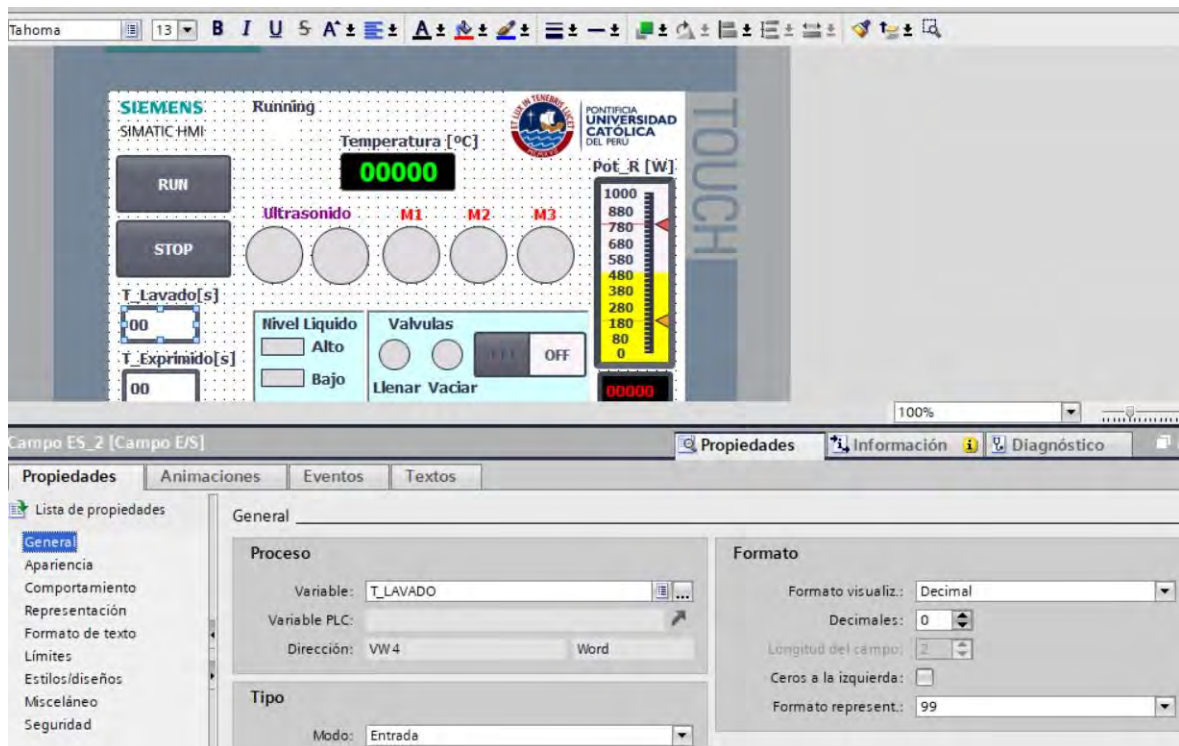
Configuración de la variable temperatura



Configuración del indicador de estado del sensor de nivel Alto

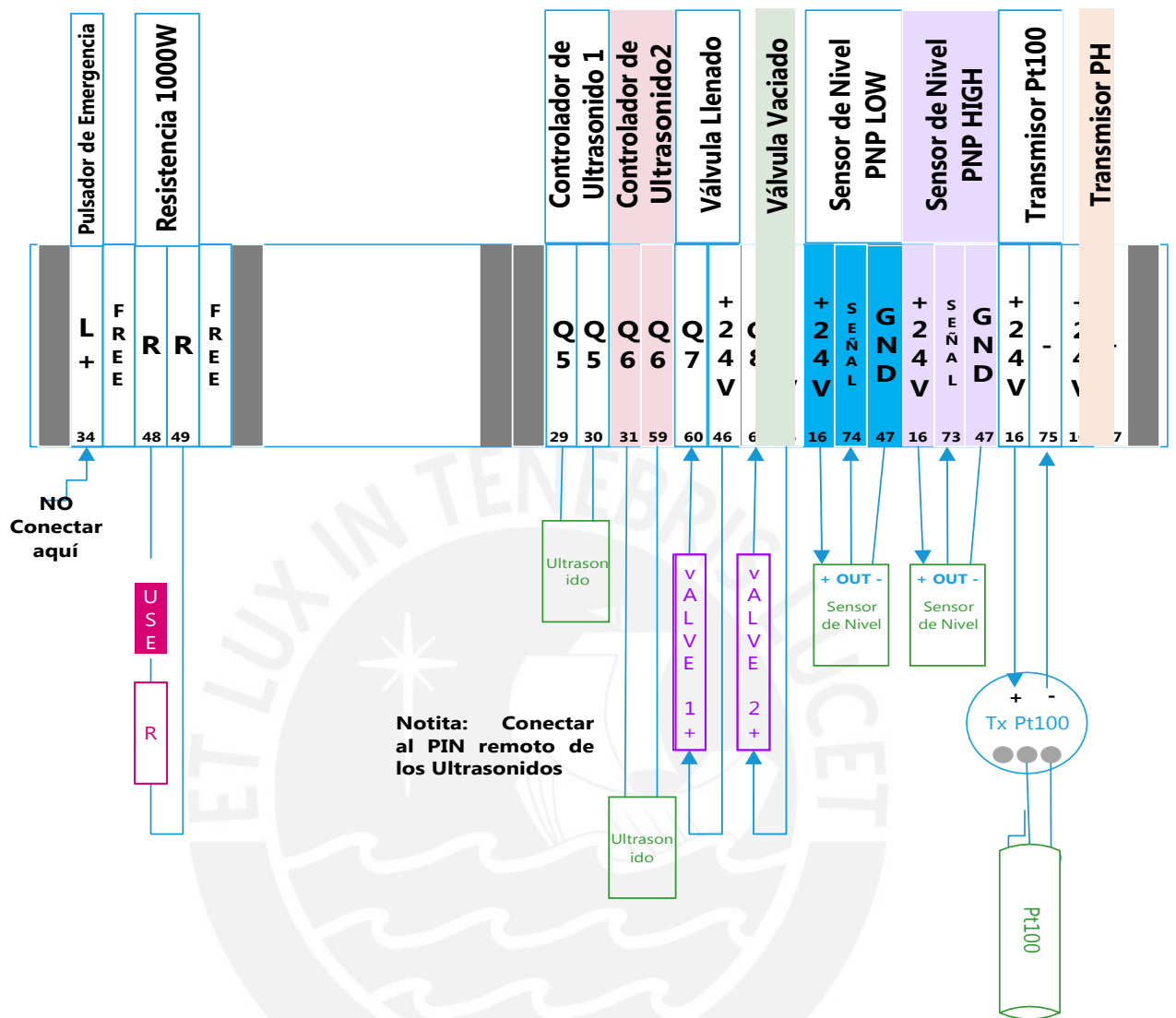


Configuración del Switch de control de vaciado del líquido de la tina de lavado.



Configuración del control de tiempo de Lavado y/o exprimido

ANEXO D: PINOUT DEL TABLERO ELECTRICO



ANEXO E: PROGRAMA DE CONTROLADOR POR ANGULO DE DISPARO

```
//CONTROL DE DISPARO POR ANGULO
//AUTOR: Alex JHON QUISPE MESCCO
int mydelay = 0;
int myvalue=0;
int last_CH1_state = 0;
void setup() {
  PCICR |= (1 << PCIE0); //Habilitamos interrupciones
  PCMSK0 |= (1 << PCINT0); //Seteamos el PIN_8 como interrupción por cambio de nivel
  pinMode(3,OUTPUT); //definimos el PIN_3 como salida del TRIAC
}
void loop() {
  //Leer el valor de la entrada analógica AN0 y mapearlo de 10 a 8.333 us.
  //La frecuencia de CA es de 60 Hz, por lo que el período es de 16.666 ms.
  //Queremos controlar la potencia del medio periodo, así que el máximo valor
  //será de 8.333ms o 8333us
  //se ha mapeado hasta 8200us ya que 8333 era un poco alto

  myvalue = map(analogRead(A0),0,1024,8200,10);
  if(mydelay){
    delayMicroseconds(myvalue); //Este retardo controla la potencia
    digitalWrite(3,HIGH);
    delayMicroseconds(100);
    digitalWrite(3,LOW);
    mydelay=0;
  }
}
// .....
//Rutina de Interrupción
// .....
ISR(PCINT0_vect){ //Entrada del opto acoplador 4N25
  if(PINB & B00000001){ //Enmascaramiento & y verificación del PIN_8, está a nivel
    Alto?
  }
}
```

```
if(last_CH1_state == 0){ //Si el ultimo estado era Cero, entonces se tiene un cambio de
estado
    mydelay=1; //Se ha detectado un cambio de estado
}
}
else if(last_CH1_state == 1){ //Si el PIN_8 está a nivel bajo y el ultimo estado fue Alto,
entonces tenemos un cambio de estado
    mydelay=1; //Se ha detectado un cambio de estado
    last_CH1_state = 0; //Se guarda el estado actual en el último estado para el siguiente
bucle
}
}
```

