

**Migración del Sistema de Control de una Centrífuga Roberts del Ingenio Sancarlos  
Ubicado en el Municipio de TULUÁ**

Víctor Manuel Montaña Colorado

Asesor

Mg. John Jairo Getial Pantoja

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

## **Agradecimientos**

A la empresa Ingenio Sancarlos, por brindar el espacio, los recursos y el acompañamiento técnico necesarios para llevar a cabo la implementación de este trabajo. Gracias al personal técnico y operativo por su disposición, colaboración y conocimientos compartidos durante el trabajo.

A los docentes de la institución, por su entrega y dedicación durante mi formación como Ingeniero Electrónico, y a mis compañeros de carrera, por ser parte de este camino lleno de aprendizajes y desafíos.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a la realización de este proyecto, les expreso mi más sincero agradecimiento.

### **Dedicatoria**

A Dios, por haber sido mi guía constante, fuente de fortaleza y sabiduría en cada etapa de este camino.

A mi esposa e hijas, por su paciencia infinita, su amor incondicional y por ser mi mayor inspiración para seguir adelante, incluso en los momentos más exigentes.

A mi familia, por su apoyo silencioso pero firme, por cada palabra de aliento y por creer en mí aun cuando las circunstancias se tornaron difíciles.

Al Mg. John Jairo Getial Pantoja, mi director de grado, por su acompañamiento, exigencia académica y orientación clara durante este proceso formativo.

Y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia —UNAD—, por brindarme las herramientas y el espacio para crecer profesionalmente, permitiéndome consolidar este proyecto como parte de mi desarrollo como ingeniero electrónico.

## Resumen

Este trabajo de grado presenta la migración del sistema de control de una centrífuga Roberts en el Ingenio Sancarlos (Tuluá, Valle del Cauca), realizada con el fin de mejorar la confiabilidad y reducir los tiempos de inactividad ocasionados por controladores electromecánicos obsoletos. En la centrífuga que es objeto de estudio, se identificaron constantes fallas en tres controladores (transferencia, reciclaje y descarga) y siete temporizadores electromecánicos, instalados aproximadamente desde 1965. Dichos equipos han incrementado los costos de mantenimiento y afectado la productividad de la empresa.

La propuesta consiste en reemplazar los controladores y temporizadores obsoletos por un PLC LOGO Siemens y una pantalla HMI DELTA, comunicados mediante Ethernet. Este nuevo sistema de control centraliza la gestión de los ciclos de lavado, separación de miel y secado, facilitando el ajuste de parámetros y la supervisión de la operación en tiempo real.

Como proyecto piloto, la migración se enfocó inicialmente en una sola centrífuga de masa A. No obstante, se espera que la experiencia adquirida sirva de base para la posterior actualización de las demás centrífugas de la línea. Paralelamente, se estableció un plan de mantenimiento preventivo y correctivo que asegura el seguimiento continuo de la operación y la detección temprana de averías. De esta forma, la modernización no solo disminuye fallas y costos, sino que garantiza la sostenibilidad y competitividad del Ingenio Sancarlos en el mercado azucarero.

**Palabras clave:** Automatización industrial, sistema de control, PLC Siemens LOGO, HMI Delta, centrífuga Roberts.

## **Abstrac**

This undergraduate thesis presents the migration of the control system of a Roberts centrifuge at Ingenio Sancarlos, located in Tuluá (Valle del Cauca), aimed at improving operational reliability and reducing downtime caused by obsolete electromechanical controllers. The centrifuge under study exhibited frequent failures in three controllers (transfer, recycle, and discharge) and seven electromechanical timers installed around 1965. These outdated devices have increased maintenance costs and negatively impacted the company's productivity. The proposed solution involves replacing the obsolete controllers and timers with a Siemens LOGO PLC and a DELTA HMI, connected via Ethernet. The new control system centralizes the management of washing, syrup separation, and drying cycles, enabling real-time parameter adjustments and operational monitoring. Implemented as a pilot project, the migration focused on a single A-massecuite centrifuge, with the intention of applying the acquired experience to modernize the remaining centrifuges. In parallel, a preventive and corrective maintenance plan was established to ensure continuous system monitoring and early fault detection. This modernization not only reduces failures and operational costs but also enhances the sustainability and competitiveness of Ingenio Sancarlos in the sugar industry.

**Keywords:** Industrial automation, control system, Siemens LOGO PLC, DELTA HMI, Roberts centrifuge.

**Tabla de contenido**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Introducción .....              | 16 |
| Planteamiento del problema..... | 18 |
| Justificación .....             | 20 |
| Objetivos.....                  | 22 |
| Objetivo general.....           | 22 |
| Objetivos específicos .....     | 22 |
| Contexto.....                   | 23 |
| Marco Teórico.....              | 25 |
| Marco Conceptual.....           | 27 |
| Metodología CDIO .....          | 30 |
| Resultados.....                 | 32 |
| Concebir el problema.....       | 32 |
| Causas y Efectos .....          | 33 |
| Causas .....                    | 33 |
| Efectos.....                    | 33 |
| CTS .....                       | 36 |
| CTT.....                        | 38 |
| CTI .....                       | 39 |

|   |    |
|---|----|
|   | 7  |
| M-B.....                                | 40 |
| Controlador de Reciclo .....            | 42 |
| CRTI .....                              | 43 |
| CRTT .....                              | 43 |
| RCT2.....                               | 44 |
| RCT3.....                               | 45 |
| Controlador de Descarga.....            | 47 |
| 1B -1A.....                             | 48 |
| DT2 .....                               | 49 |
| DT3 .....                               | 50 |
| DT4 .....                               | 51 |
| DT5 .....                               | 52 |
| Diseñar la Solución.....                | 55 |
| Controlador de transferencia.....       | 55 |
| Controlador de reciclo.....             | 55 |
| Controlador de descarga .....           | 55 |
| Temporizadores de purgas y Lavados..... | 55 |
| Implementar .....                       | 66 |
| Programación de PLC LOGO Siemens .....  | 66 |

|  |     |
|--|-----|
| Configuración de PLC logo .....                              | 67  |
| Programación de Lavado, Separación de Miel y Secado.....     | 79  |
| Primera purga (separación de miel) .....                     | 83  |
| Primer lavado .....  | 86  |
| Segunda purga.....   | 88  |
| Segundo lavado.....  | 90  |
| Secante. ....  | 93  |
| Operar .....   | 97  |
| Puesta en marcha y validación en campo .....                 | 97  |
| Checklists eléctricos.....                                   | 97  |
| Pruebas de comunicación.....                                 | 97  |
| Pruebas en vacío .....                                       | 97  |
| Inicialización de secuencias .....                           | 97  |
| Capacitación del personal operativo y de mantenimiento ..... | 98  |
| Implementación del Plan de Mantenimiento .....               | 98  |
| Mantenimiento Preventivo.....                                | 98  |
| Mantenimiento Correctivo .....                               | 98  |
| Procedimientos de mantenimiento.....                         | 105 |
| Evidencias de operación .....                                | 106 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Conclusiones .....    | 109 |
| Recomendaciones ..... | 111 |
| Referencias.....      | 112 |
| Apéndices.....        | 114 |

### Índice de Tablas

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Entradas y Salidas Digitales por Relè</i> .....                    | 59  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Cantidad de Elementos para la Implementación del Sistema</i> ..... | 65  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Instructivo Controlador de Transferencia</i> .....                 | 100 |
| <b>Tabla 4</b> <i>Instructivo Controlador de Recibo</i> .....                        | 101 |
| <b>Tabla 5</b> <i>Instructivo Controlador de Descarga</i> .....                      | 102 |
| <b>Tabla 6</b> <i>Instructivo Lavado de Malla</i> .....                              | 103 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> <i>Árbol de Problema</i> .....                                      | 19 |
| <b>Figura 2</b> <i>Ingenio Sancarlos en sus Inicios y Actualmente</i> .....         | 23 |
| <b>Figura 3</b> <i>Elaboración de Azúcar Primera Parte</i> .....                    | 24 |
| <b>Figura 4</b> <i>Elaboración de Azúcar Segunda Parte</i> .....                    | 24 |
| <b>Figura 5</b> <i>Metodología a Implementar</i> .....                              | 30 |
| <b>Figura 6</b> <i>Controlador Electromecánico de Transferencia</i> .....           | 35 |
| <b>Figura 7</b> <i>Lógica Cableada del Controlador de Transferencia</i> .....       | 36 |
| <b>Figura 8</b> <i>Final de Carrera Posición de Reposo Centrífuga Roberts</i> ..... | 37 |
| <b>Figura 9</b> <i>Planos Eléctricos Western State Machina</i> .....                | 38 |
| <b>Figura 10</b> <i>Contacto Seco CTT del Motor de Controlador</i> .....            | 39 |
| <b>Figura 11</b> <i>Ubicación del Contacto CTI Lógica Cableada</i> .....            | 40 |
| <b>Figura 12</b> <i>Bornes del Motor y Piñones para los Tiempos</i> .....           | 41 |
| <b>Figura 13</b> <i>Controlador de Reciclo Interno</i> .....                        | 42 |
| <b>Figura 14</b> <i>Contacto de Reset Control Eléctrico</i> .....                   | 43 |
| <b>Figura 15</b> <i>Contacto Inicio Temporizador del Controlador</i> .....          | 44 |
| <b>Figura 16</b> <i>Contacto de Arranque del Motor Principal</i> .....              | 45 |
| <b>Figura 17</b> <i>Ejecución de la Carga de Forma Automática</i> .....             | 46 |
| <b>Figura 18</b> <i>Controlador de Descarga</i> .....                               | 48 |
| <b>Figura 19</b> <i>Contacto de Accionamiento de Descarga</i> .....                 | 49 |
| <b>Figura 20</b> <i>Contacto de Controlador Motor de Reversa</i> .....              | 50 |
| <b>Figura 21</b> <i>Contacto Seco del Cilindro del Arado</i> .....                  | 51 |

|   |    |
|---|----|
|   | 12 |
| <b>Figura 22</b> <i>Contacto Seco del Controlador de Descarga</i> .....                     | 52 |
| <b>Figura 23</b> <i>Contacto Seco Controlador de Descarga</i> .....                         | 53 |
| <b>Figura 24</b> <i>Vista Delantera del Temporizador</i> .....                              | 54 |
| <b>Figura 25</b> <i>Vista Trasera Temporizador</i> .....                                    | 54 |
| <b>Figura 26</b> <i>Arquitectura Propuesta</i> .....  | 56 |
| <b>Figura 27</b> <i>Diagrama de Conexión Tres Controladores</i> .....                       | 57 |
| <b>Figura 28</b> <i>Diagrama de Conexión para los Lavados</i> .....                         | 58 |
| <b>Figura 29</b> <i>Modelo Pantalla Táctil HMI, DOP-B07E415</i> .....                       | 59 |
| <b>Figura 30</b> <i>Relé para hacer la Interfaz con los Actuadores</i> .....                | 60 |
| <b>Figura 31</b> <i>Dimensiones y Conexión de Relé</i> .....                                | 61 |
| <b>Figura 32</b> <i>Relé para hacer la Interfaz con los Actuadores</i> .....                | 62 |
| <b>Figura 33</b> <i>Dimensiones y Conexión</i> .....  | 62 |
| <b>Figura 34</b> <i>Módulo de Expansión PLC LOGO</i> .....                                  | 63 |
| <b>Figura 35</b> <i>PLC Siemens DMR 230R</i> .....  | 64 |
| <b>Figura 36</b> <i>Estructura Hardware Correspondiente</i> .....                           | 64 |
| <b>Figura 37</b> <i>Software Logo Soft Conform V8</i> .....                                 | 66 |
| <b>Figura 38</b> <i>Configuración Protocolo Ethernet en PLC Logo</i> .....                  | 67 |
| <b>Figura 39</b> <i>Función del Controlador de Transferencia</i> .....                      | 68 |
| <b>Figura 40</b> <i>Programación del Controlador de Transferencia</i> .....                 | 69 |
| <b>Figura 41</b> <i>Continuación de Programación del Controlador de Transferencia</i> ..... | 69 |
| <b>Figura 42</b> <i>Continuación Programación del Controlador de Transferencia</i> .....    | 70 |
| <b>Figura 43</b> <i>Función del Controlador de Reciclo</i> .....                            | 71 |

|  |    |
|--|----|
|  | 13 |
| <b>Figura 44</b> <i>Programación del Controlador de Reciclo</i> .....                  | 72 |
| <b>Figura 45</b> <i>Continuación Programación del Controlador de Reciclo</i> .....     | 72 |
| <b>Figura 46</b> <i>Programación del Controlador de Reciclo en Software LOGO</i> ..... | 73 |
| <b>Figura 47</b> <i>Función del Controlador de Descarga</i> .....                      | 74 |
| <b>Figura 48</b> <i>Programación de Controlador de Descarga</i> .....                  | 75 |
| <b>Figura 49</b> <i>Programación de Controlador de Descarga</i> .....                  | 75 |
| <b>Figura 50</b> <i>Ajuste de IP de Pantalla HMI DELTA</i> .....                       | 76 |
| <b>Figura 51</b> <i>Selección de Modelo de Pantalla</i> .....                          | 77 |
| <b>Figura 52</b> <i>Configuración del Puerto de Comunicación y Controlador</i> .....   | 78 |
| <b>Figura 53</b> <i>Diagrama de Bloques Controlador Lavados</i> .....                  | 80 |
| <b>Figura 54</b> <i>Programación Temporizadores Cargados</i> .....                     | 81 |
| <b>Figura 55</b> <i>Configuración de Entrada de Tiempo, Variable y Rango</i> .....     | 82 |
| <b>Figura 56</b> <i>Barra Progresiva, Lectura Auto Rango</i> .....                     | 83 |
| <b>Figura 57</b> <i>Programación de la Primera Purga</i> .....                         | 84 |
| <b>Figura 58</b> <i>Diseño de Interfaz para la Primera Purga</i> .....                 | 85 |
| <b>Figura 59</b> <i>Interfaz Primera Purga</i> .....                                   | 85 |
| <b>Figura 60</b> <i>Programación del Primer Lavado</i> .....                           | 86 |
| <b>Figura 61</b> <i>Diseño de la Interfaz Primer Lavado</i> .....                      | 87 |
| <b>Figura 62</b> <i>Interfaz Primer Lavado</i> .....                                   | 87 |
| <b>Figura 63</b> <i>Programación de la Segunda Purga</i> .....                         | 88 |
| <b>Figura 64</b> <i>Diseño de Interfaz Segunda Purga</i> .....                         | 89 |
| <b>Figura 65</b> <i>Interfaz Segunda Purga</i> .....                                   | 89 |

|  |     |
|--|-----|
|  | 14  |
| <b>Figura 66</b> <i>Botones para Elegir los Lavados</i> .....              | 91  |
| <b>Figura 67</b> <i>Programación PLC del Segundo Lavado</i> .....          | 92  |
| <b>Figura 68</b> <i>Visualización de Interfaz Segundo Lavado</i> .....     | 93  |
| <b>Figura 69</b> <i>Diseño de Barra Progresiva</i> .....                   | 93  |
| <b>Figura 70</b> <i>Programación Secado PLC</i> .....                      | 95  |
| <b>Figura 71</b> <i>Interfaz para el Secado</i> .....                      | 95  |
| <b>Figura 72</b> <i>Diseño de Barra Progresiva</i> .....                   | 96  |
| <b>Figura 73</b> <i>Antes y Después de la Implementación del PLC</i> ..... | 107 |
| <b>Figura 74</b> <i>Estado Actual Operativo</i> .....                      | 107 |
| <b>Figura 75</b> <i>Antes y Después, Temporizadores Lavado</i> .....       | 108 |

## Índice de Apéndices

|  |     |
|--|-----|
| <b>Apéndice A</b> <i>Lista de Chequeo Diaria</i> .....             | 114 |
| <b>Apéndice B</b> <i>Lista de Chequeo Semanal</i> .....            | 115 |
| <b>Apéndice C</b> <i>Formato de Mantenimiento Correctivo</i> ..... | 116 |

## **Introducción**

La ingeniería electrónica, como campo transformador de la industria moderna, tiene entre sus grandes retos la actualización tecnológica de sistemas que, pese a su antigüedad, siguen siendo esenciales para la productividad de las empresas. Este trabajo de grado surge precisamente en ese contexto: la necesidad de revitalizar una parte crítica del proceso de producción del Ingenio Sancarlos, una empresa con historia, tradición y un papel relevante en el sector azucarero del país.

En el corazón de esta investigación se encuentra una centrífuga Roberts, operativa desde hace varias décadas, cuyo sistema de control electromecánico ha llegado al límite de su vida útil. Las fallas recurrentes, el alto costo de mantenimiento y la dificultad para encontrar repuestos representan no solo una amenaza operativa, sino un desafío técnico que exige soluciones desde la ingeniería aplicada. Ante este panorama, la migración a un sistema moderno basado en un PLC Siemens LOGO y una interfaz HMI DELTA no es solo una mejora tecnológica, sino un paso decisivo hacia la sostenibilidad industrial.

La propuesta aquí desarrollada no se limita a reemplazar dispositivos antiguos por componentes nuevos. Representa la aplicación rigurosa de conocimientos en automatización, programación, diseño y mantenimiento, enmarcados en una metodología de ingeniería robusta como lo es CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar). Este enfoque permite no solo resolver un problema específico, sino generar un modelo replicable que puede beneficiar otras áreas críticas del Ingenio.

En este proceso no solo se fortalecen competencias técnicas, sino también una visión más amplia de la ingeniería: aquella que combina eficiencia, mejora continua y compromiso con la

sostenibilidad. De esta manera, este proyecto se consolida como una contribución significativa, no solo al desempeño del Ingenio Sancarlos, sino también al desarrollo profesional del autor y a la construcción de soluciones innovadoras desde la ingeniería colombiana.

### **Planteamiento del problema**

El Ingenio Sancarlos, fundado en 1945 y ubicado en el municipio de Tuluá (Valle del Cauca), es una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar y sus derivados (melaza, bagazo y electricidad). Según su informe de resultados de 2022, cuenta con 851 trabajadores directos, molió 670.533 toneladas de caña y produjo 1,4 millones de quintales de azúcar (Ingenio Sancarlos, 2022).

Dentro de su infraestructura, el Ingenio opera dos líneas de producción de azúcar: la primera dispone de cuatro centrífugas para masa A y cinco para masa B. Las centrífugas de masa A, en particular, presentan fallas eléctricas recurrentes a causa de controladores electromecánicos obsoletos, responsables de ciclos clave como el lavado de malla, la carga y la descarga del producto. En cada centrífuga se usan tres controladores (transferencia, reciclaje y descarga) y siete temporizadores electromecánicos que gestionan los lavados y los tiempos de secado. El desgaste natural y la antigüedad de estos dispositivos —en operación desde aproximadamente 1965— ocasionan constantes interrupciones y tiempos muertos en la producción.

La empresa fabricante original, The Western States Machine Company, ha discontinuado la fabricación de estos controladores debido a su obsolescencia, ofreciendo únicamente servicios integrales de actualización a un costo considerado elevado para el Ingenio Sancarlos. Este panorama acarrea implicaciones financieras, al no justificarse fácilmente la inversión requerida para modernizar la maquinaria frente a los beneficios esperados en el corto y mediano plazo.

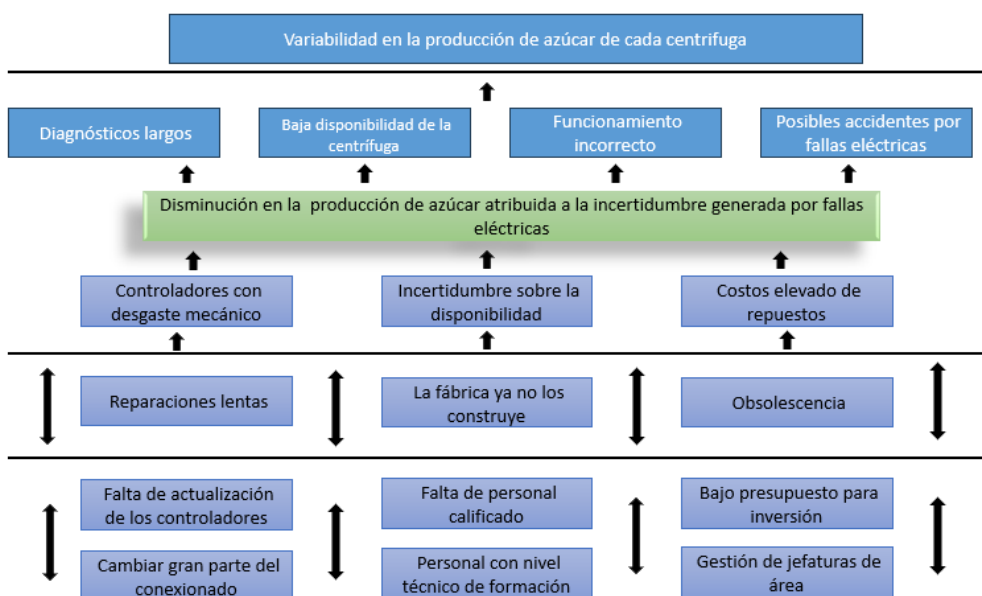
El problema repercute de manera directa en la eficiencia y productividad de la planta, al provocar paradas de producción, potenciales daños adicionales a las máquinas y costes permanentes en reparaciones y mantenimiento. Además, la escasa documentación y la

dependencia del conocimiento del personal más antiguo incrementan la vulnerabilidad del Ingenio ante la posible ausencia de dicho personal.

En resumen, la obsolescencia de equipos, las fallas continuas y los altos costes de actualización representan desafíos críticos que ponen en riesgo la competitividad y rentabilidad del Ingenio Sancarlos en la producción de azúcar.

### Figura 1

#### Árbol de Problema



*Nota.* Impacto sobre la confiabilidad de la centrifuga actualmente.

## **Justificación**

El Ingenio Sancarlos enfrenta un problema estructural derivado de la antigüedad de los sistemas de control en sus centrífugas de masa A. Dichas máquinas sufren fallos frecuentes que conllevan a pérdidas de producción, incremento en los tiempos de inactividad y elevados costes de mantenimiento. Modernizar estos sistemas de control resulta esencial para preservar la confiabilidad y la disponibilidad de la línea de producción, y garantizar la sostenibilidad del negocio.

La adopción de tecnología actual, como controladores lógicos programables (PLC) y pantallas HMI, proporcionaría una operación más estable y eficiente, disminuyendo los tiempos muertos y mitigando la dependencia de repuestos obsoletos. Esta actualización posibilitaría, además, una supervisión más detallada de los procesos, permitiendo diagnósticos tempranos y un mantenimiento preventivo más eficaz.

Desde el punto de vista formativo, el proyecto constituye una oportunidad para aplicar conocimientos de ingeniería electrónica —incluyendo telecontrol, instrumentación y automatización de procesos industriales— al resolver un problema real de gran relevancia operativa. Así mismo, fortalece la preparación profesional de los involucrados, generando competencias en el diseño, implementación y evaluación de soluciones tecnológicas que contribuyan al mejoramiento de procesos productivos.

En un plano más amplio, la mejora de la eficiencia en la producción de azúcar promueve un uso responsable de energía y recursos, alineándose con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). Así, la modernización de los sistemas de control no solo

implica beneficios económicos y operativos para la empresa, sino que aporta a la construcción de una industria más competitiva, sostenible y generadora de empleo en la región.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Migrar el sistema de control de una centrífuga Roberts del Ingenio Sancarlos ubicado en el municipio de Tuluá, para mejorar confiabilidad y reducir los tiempos muertos de inactividad.

### **Objetivos específicos**

Analizar el desempeño del controlador electromecánico actual de la centrífuga Roberts.

Implementar un controlador lógico programable PLC y una pantalla DELTA para la centrífuga Roberts.

Definir un plan de mantenimiento preventivo y correctivo del nuevo sistema de control de la centrífuga Roberts.

## Contexto

Para satisfacer la creciente demanda de azúcar y optimizar la operación industrial, el Ingenio cuenta con dos líneas de producción: la primera incluye cuatro centrífugas para masa A y cinco para masa B. Sin embargo, estas centrífugas de masa A presentan fallas eléctricas frecuentes debido a la obsolescencia de sus sistemas de control electromecánicos, instalados originalmente alrededor de 1965. La falta de repuestos y el alto costo de una actualización ofrecida por el fabricante original han llevado al Ingenio a buscar soluciones internas más viables desde el punto de vista técnico y financiero.

En este contexto, la modernización de una de las centrífugas (considerada como proyecto piloto) mediante la migración de sus tres controladores electromecánicos y siete temporizadores hacia un PLC LOGO Siemens y una interfaz HMI DELTA, constituye una estrategia de actualización clave. Además de mejorar la confiabilidad de la producción, esta propuesta sirve como referente para su eventual réplica en otras centrífugas y líneas de producción.

### Figura 2

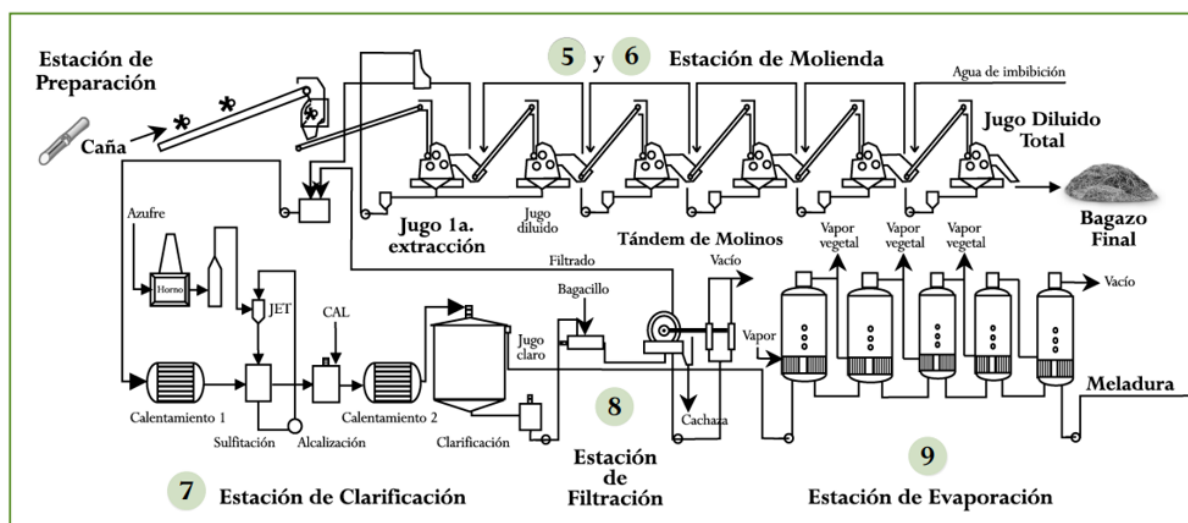
*Ingenio Sancarlos en sus Inicios y Actualmente*



*Nota.* Reporte fotográfico de antes y después. Tomado de. <https://ingeniosancarlos.com.co/> (s.f.)

**Figura 3**

*Elaboración de Azúcar Primera Parte*

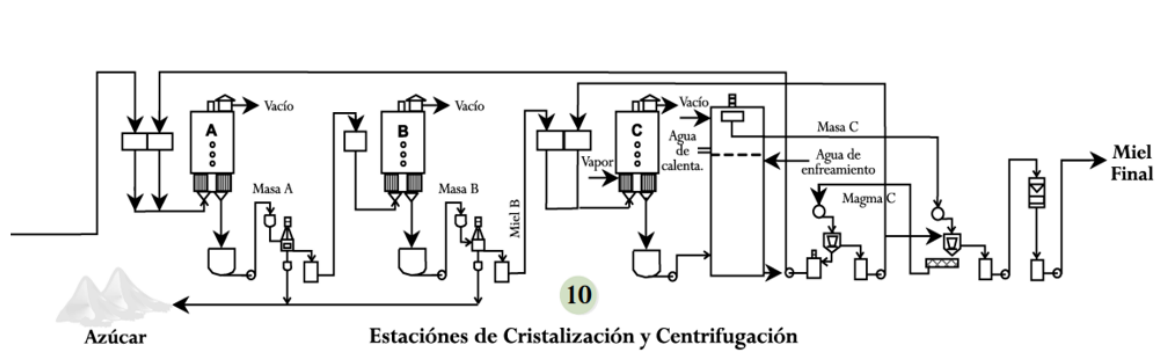


*Nota.* Proceso de elaboración de azúcar. Tomado de. Cenicaña. (2014).

<https://www.cenicana.org/proceso-de-obtencion-de-azucar/>

**Figura 4**

*Elaboración de Azúcar Segunda Parte*



*Nota.* Proceso de elaboración de azúcar y cristalización. Tomado de. Cenicaña. (2014).

<https://www.cenicana.org/proceso-de-obtencion-de-azucar/>

## **Marco Teórico**

La automatización industrial ha experimentado una notable evolución a lo largo del tiempo, transformando radicalmente los procesos de fabricación y producción en diversos sectores industriales. En este contexto, los Controladores Lógicos Programables (PLC) han desempeñado un papel fundamental, siendo elementos clave en el control y monitoreo de procesos industriales (Zapata et. al., 2021). A continuación, se presenta un marco teórico que aborda la evolución de la automatización industrial y la importancia de los PLC.

### **Evolución de la Automatización Industrial:**

En las primeras etapas de la automatización industrial, se empleaban sistemas de control mecánicos y eléctricos simples, que requerían una configuración manual y eran limitados en su capacidad de adaptación a cambios en el proceso de producción.

Con el avance de la electrónica, surgieron sistemas de control más sofisticados que permitían una mayor flexibilidad y precisión en la automatización de procesos. Estos sistemas se basaban en relés y circuitos eléctricos, pero aún tenían limitaciones en términos de programación y capacidad de procesamiento.

La introducción de los Controladores Lógicos Programables (PLC) marcó un hito en la automatización industrial. Los PLC combinaban la flexibilidad de la programación electrónica con la robustez de los sistemas de control, permitiendo la automatización de procesos complejos y su integración con sistemas de supervisión y control (Maloney, 2006).

Los PLC están diseñados con una arquitectura modular que incluye unidades de entrada, unidades de procesamiento central y unidades de salida. Esta estructura modular facilita la expansión y personalización de los sistemas de control.

Estos controladores se programan utilizando lenguajes de programación específicos, como el Lenguaje de Escalera (Ladder), el Lenguaje de Bloques Funcionales (FBD) o el Lenguaje de Instrucciones de Lista (IL). Estos lenguajes permiten la creación de algoritmos y secuencias de control para diversos procesos industriales.

Entre otros atributos pueden comunicarse con otros dispositivos y sistemas a través de diferentes protocolos de comunicación, como Ethernet, Profibus, Modbus, entre otros. Esta capacidad de comunicación facilita la integración de los PLC en entornos industriales complejos y su conexión con sistemas de supervisión y control a nivel superior (Dickson, 2023)

Los controladores lógicos programables (PLC) se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales, incluyendo el control de maquinaria, sistemas de producción, sistemas de empaque, sistemas de manejo de materiales, entre otros.

## Marco Conceptual

PLC (controlador lógico programable): De acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA, por sus siglas en inglés), un PLC es un dispositivo electrónico digital que emplea una memoria programable para almacenar y ejecutar instrucciones con fines específicos (por ejemplo, lógica, secuenciación, temporización, registro, conteo y operaciones aritméticas). Dichas instrucciones permiten controlar diversas máquinas o procesos a través de módulos de entrada y salida, tanto digitales (ON/OFF) como analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA). (Capterra, s.f.)

Sistema de control electrónico: Un sistema de control es aquel que regula y ajusta una salida para lograr la respuesta deseada. Esto implica la coordinación de elementos mecánicos y/o electrónicos que, a través de lazos de control, administran y monitorean el comportamiento de otros dispositivos o sistemas (Euroinnova, s.f.).

Automatización: La automatización implica la aplicación de tecnologías que permiten ejecutar actividades con una intervención humana mínima. Puede adaptarse a cualquier ámbito donde existan labores repetitivas, aunque es especialmente frecuente en industrias como la manufactura, la robótica o la automotriz, así como en entornos de TI (por ejemplo, software de soporte en la toma de decisiones empresariales) (Sydle, 2022).

Centrífuga: Las Centrifugadoras por lotes son Máquinas de filtración que se utilizan para separar la masa de azúcar en sus cristales constituyentes y sus aguas madres, bajo la acción de la fuerza centrífuga (MUseoFIQ, s.f.).

**Controlador:** Los controladores son procesadores, con sus elementos hardware y software, que calculan la acción de control a aplicar a un proceso mediante algún tipo de algoritmo y utilizando información del proceso a controlar: la variable medida. (Ávila, 2017).

**Temporizador:** De modo general, un temporizador se concibe como el intervalo de tiempo que transcurre entre dos etapas de un proceso, de tal manera que la señal emitida en la primera provoca una acción en la segunda después de cumplirse el tiempo establecido (Ingeniería Mecafenix, 2019).

**HMI (interfaz hombre máquina):** La interfaz hombre-máquina (HMI) corresponde a un panel que facilita la interacción de un usuario con un dispositivo, programa o sistema. Aunque puede emplearse en numerosas aplicaciones, es más común encontrarla en entornos industriales. Por medio de la HMI, se presentan datos en tiempo real y se permite el manejo de la maquinaria a través de una interfaz gráfica intuitiva (Aveva, s.f.).

**Protocolo de comunicación Ethernet/IP:** Ethernet/IP se configura como un protocolo de red multicapa orientado a aplicaciones de automatización industrial. Emplea los estándares TCP/IP junto con dispositivos de Ethernet convencionales para establecer un conjunto de reglas que habilitan la configuración, acceso y control de equipos industriales. Este protocolo clasifica los nodos según tipos de dispositivos y funciones específicas. Su origen se basa en el Protocolo de Control e Información (CIP), utilizado en sistemas como DeviceNet y ControlNet™, brindando un entorno integrado y global, desde la planta de producción hasta el sistema central de la organización (Torres, 2011).

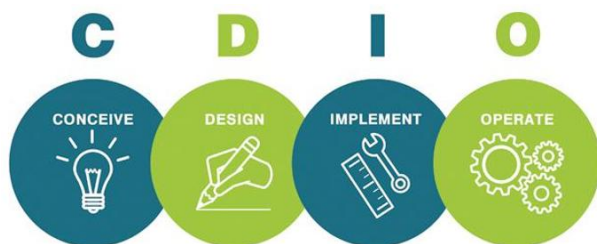
**Mantenimiento:** El mantenimiento se enfoca en preservar el estado óptimo de un equipo mediante un conjunto de labores preventivas que evitan fallas. Estas tareas pueden incluir el

reemplazo de aceite, la limpieza correcta y evaluaciones o inspecciones programadas. Según los especialistas, mantener una rutina de mantenimiento apropiada ayuda a conservar los equipos en buen estado al menor costo posible (Palencia, 2024).

## Metodología CDIO

**Figura 5**

*Metodología a Implementar*



*Nota.* Metodología que se implantará en la migración de la centrífuga. Tomado de.

<https://www.universidadandes.com.co> (s.f)

La metodología CDIO se fundamenta en la noción de que el desarrollo y el uso de productos, procesos y sistemas representan el contexto idóneo para la formación en ingeniería. Sus cuatro fases —Concebir, Diseñar, Implementar y Operar— abarcan el ciclo de vida completo de un producto o proceso, desde la concepción de la idea hasta su puesta en operación y posterior optimización (Parra et. al., 2019).

La etapa Concebir comprende definir las necesidades del cliente; considerar la tecnología, la estrategia empresarial y las regulaciones; y, por último, desarrollar el plan conceptual, el plan técnico y el plan de negocio. La etapa Diseñar se centra en la creación del diseño, esto es, los planos, representaciones y algoritmos que describen lo que será después implementado. La etapa Implementar se refiere a la transformación del diseño en el producto, proceso o sistema, incluyendo su manufactura, codificación, testeo y validación. Y la última etapa, Operar, se refiere a la utilización del producto o proceso implementado para entregar el

resultado esperado; esta etapa incluye el mantenimiento, el perfeccionamiento y el retiro final del sistema (Restrepo y Lopera, 2015).

## **Resultados**

### **Concebir el problema**

El ingenio Sancarlos cuenta con desafíos significativos en términos de confiabilidad operativa y eficiencia en la producción de azúcar. La problemática principal radica en el deterioro de algunos elementos de las máquinas pertenecientes a la línea de masa A, las cuales están equipadas con controladores electromecánicos que han quedado obsoletos en comparación con las tecnologías actuales. Esta obsolescencia tecnológica ha generado un aumento en las fallas eléctricas, las cuales impactan directamente en la estabilidad y continuidad del proceso productivo.

El fenómeno de las fallas eléctricas, originadas por el deterioro natural (Endurancia mecánica) de los elementos de control, representa un desafío técnico y operativo considerable para el ingenio. La falta de confiabilidad en el funcionamiento de las máquinas no solo compromete la producción de azúcar, sino que también incide en la disponibilidad, lo que resulta en pérdidas económicas significativas para la empresa. Además, la inestabilidad en la operación de las máquinas puede derivar en un aumento en los costos de mantenimiento y reparación.

Ante esta situación, es fundamental contar con estrategias de actualización tecnológica que permitan superar los desafíos presentes en el ingenio. La modernización de los controladores electromecánicos por sistemas más avanzados, como los controladores lógicos programables (PLC), se presenta como una solución efectiva para mejorar la confiabilidad y eficiencia de las máquinas.

Dentro del proyecto se integra un plan integral de mantenimiento preventivo que garantice el correcto funcionamiento de los equipos a lo largo del tiempo, por tal motivo la

implementación de este tipo de controladores electrónicos PLC brinda una solución confiable y soluciona la problemática de fondo que radica en la obsolescencia de los elementos de control actuales.

### ***Causas y Efectos***

El prolongado uso de los controladores electromecánicos obsoletos en las centrífugas de masa A presenta varias causas y efectos:

#### ***Causas***

Antigüedad. Los controladores han estado en funcionamiento desde aproximadamente 1965, lo que implica una vida útil prolongada y una tecnología obsoleta.

Desgaste y deterioro. Con el paso del tiempo, los componentes electromecánicos experimentan desgaste (Endurancia mecánica) y deterioro, lo que aumenta la probabilidad de fallas.

Falta de repuestos. La empresa fabricante ya no produce estos controladores debido a su antigüedad, lo que dificulta la obtención de repuestos y piezas.

#### ***Efectos***

Fallas recurrentes. La antigüedad y el desgaste de los controladores resultan en fallas eléctricas recurrentes en las centrífugas, lo que conduce a la inactividad de las máquinas y la interrupción de la producción.

Pérdida de eficiencia. Las fallas frecuentes en los controladores afectan negativamente la eficiencia operativa de las centrífugas y, por lo tanto, la productividad general de las operaciones de producción de azúcar.

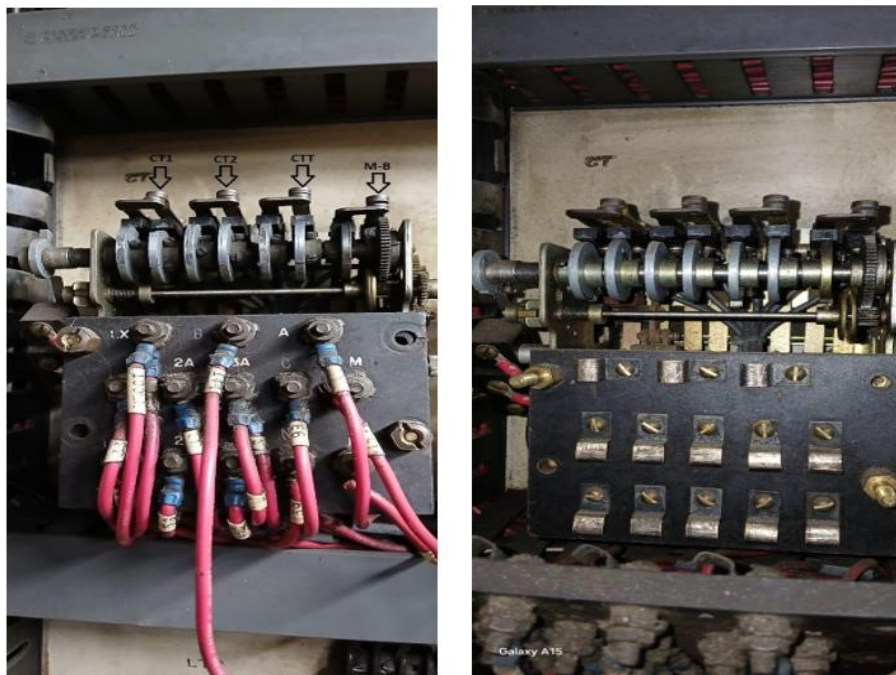
Costos adicionales. La falta de repuestos y la necesidad de mantener y reparar continuamente los controladores obsoletos generan costos adicionales para el ingenio, tanto en términos de mano de obra como de tiempo de inactividad de la máquina.

Para determinar el controlador lógico programable (PLC) más adecuado, fue crucial considerar varios aspectos técnicos. Estos incluyen el tipo de comunicación a utilizar para la interfaz HMI, el número y tipo de salidas, si son transistorizadas o contactos secos, así como el tipo de cargas que soportará. A partir de este análisis, se puede determinar cuál CPU es la más apropiada.

Las centrífugas de masa A están equipadas con tres controladores electromecánicos, los cuales son responsables de llevar a cabo funciones específicas como la descarga, transferencias de velocidad y el ciclo automático. Estos primeros controladores constituyen el núcleo de control de la máquina.

En cuanto a los lavados, la centrífuga cuenta con siete temporizadores que operan en cascada, es decir, de forma secuencial. En secciones posteriores se presenta el análisis en detalle la lógica de operación y los diagramas eléctricos de estos temporizadores. Por el momento, se desglosa el control central de la máquina

En la figura 6, se observa la disposición física del controlador electromecánico actualmente en uso en la centrífuga.

**Figura 6***Controlador Electromecánico de Transferencia*

*Nota.* Estado actual del controlador de transferencias. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

El controlador de transferencia dispone de cuatro contactos secos normalmente abiertos (N.O.), los cuales se activan según el ciclo operativo de la máquina o en respuesta a las solicitudes realizadas por el operario de la centrífuga.

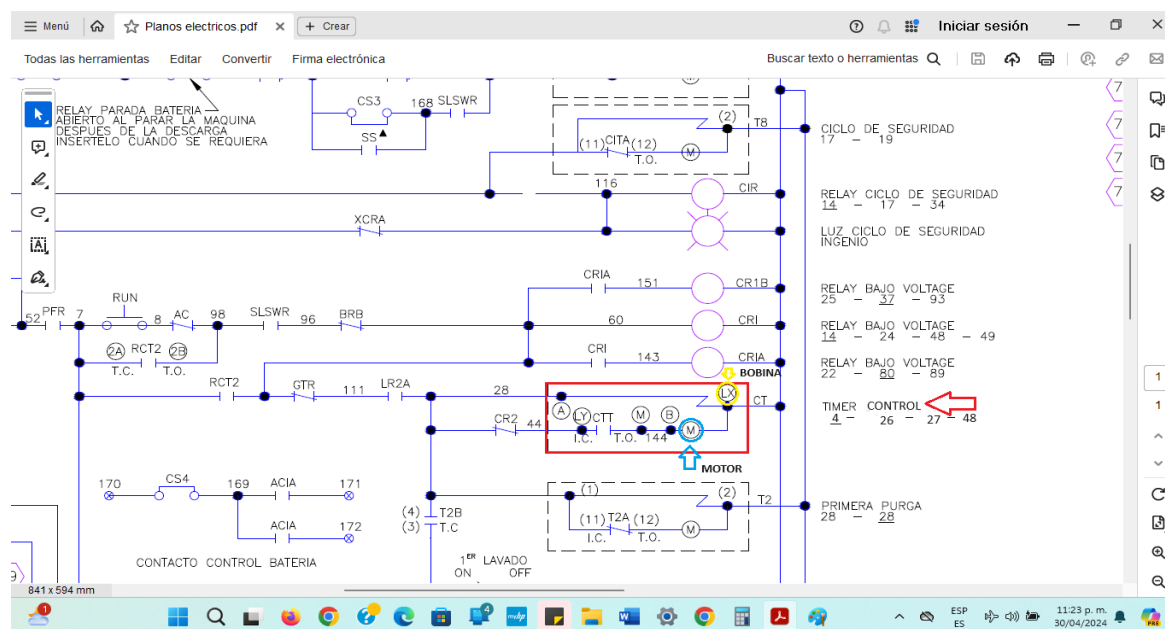
Este dispositivo está constituido por dos elementos electromecánicos principales: un motor y una bobina. El motor, representado por un círculo de color azul, al ser energizado genera un movimiento rotacional que acciona una biela mecánica, sobre la cual están montados los contactos secos. La bobina, identificada con color amarillo, realiza un cierre instantáneo que permite el enclavamiento del sistema mediante la retención de la propia bobina, garantizando así la continuidad del proceso sin necesidad de alimentación constante.

Los cuatro contactos secos incorporados en el controlador permiten la interacción y coordinación con otros elementos del sistema de control de la centrífuga. A continuación, se describen individualmente cada uno de estos contactos y su función dentro del esquema general de control de la máquina.

En la siguiente figura se puede apreciar la conexión eléctrica y su ubicación en el plano eléctrico de la centrífuga.

### Figura 7

#### Lógica Cableada del Controlador de Transferencia



*Nota.* Representación del controlador en el plano. Tomado de. planos del ingenio Sancarlos.

#### CTS

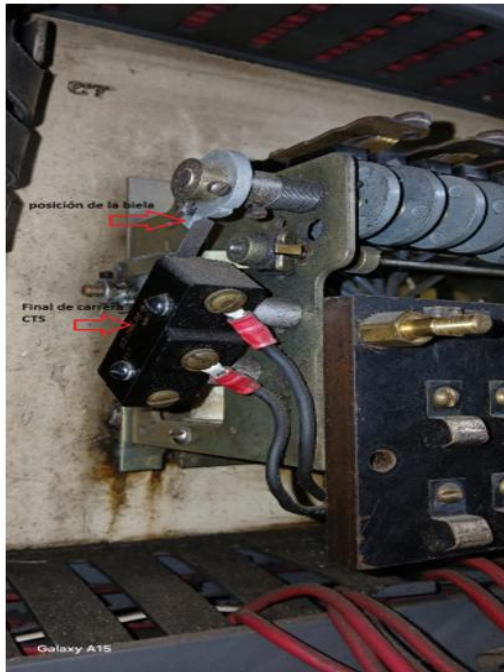
Este contacto funciona como una confirmación del estado actual del controlador, es de recordar que este controlador es electromecánico lo que permite saber su estado mecánico en cualquier momento, validando físicamente el controlador como podemos ver en la imagen,

interruptor tipo final de carrera que es accionado por una biela del engranaje, el cual indica que el controlador está en reposo, una condición necesaria para iniciar el ciclo de operación.

A continuación, se presenta el estado inicial del interruptor de límite (final de carrera) instalado en el gabinete de control de la centrífuga Roberts.

### Figura 8

#### *Final de Carrera Posición de Reposo Centrífuga*

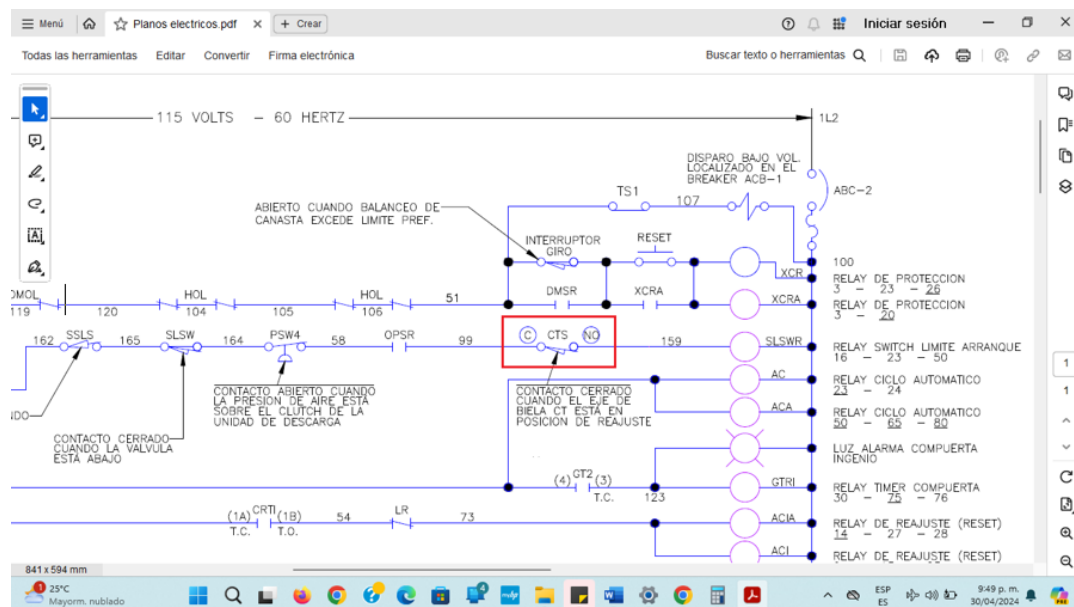


*Nota.* Switch Final de carrera de controlador de transferencia. Tomado de ingenio Sancarlos.

La figura 9 muestra la representación del contacto seco correspondiente al final de carrera, integrado en la lógica cableada con la que fue implementado originalmente el sistema de control.

Figura 9

## Planos Eléctricos Western State Machina

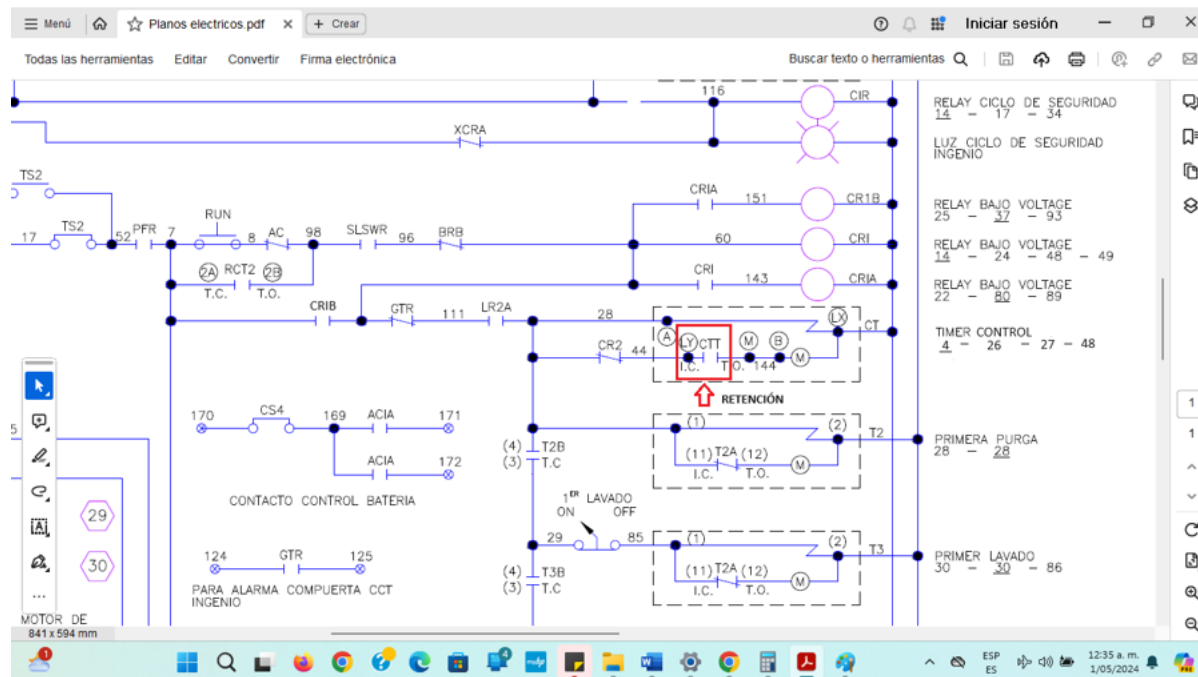


*Nota.* Planos de controlador de transferencia. Tomado de ingenio Sancarlos.

**CTT**

Este controlador es de naturaleza electromecánica, por lo tanto, requiere de una señal eléctrica que permita la energización del motor para su correcto funcionamiento. El contacto CTT cumple la función de cerrar el circuito que alimenta el motor del controlador, habilitando así la ejecución de los tiempos previamente asignados para cada una de las funciones del sistema.

En el plano siguiente se observa la representación del contacto seco correspondiente integrado en la lógica cableada implementado originalmente.

**Figura 10***Contacto Seco CTT del Motor de Controlador*

*Nota.* Plano del controlador seco. Tomado de. ingenio Sancarlos.

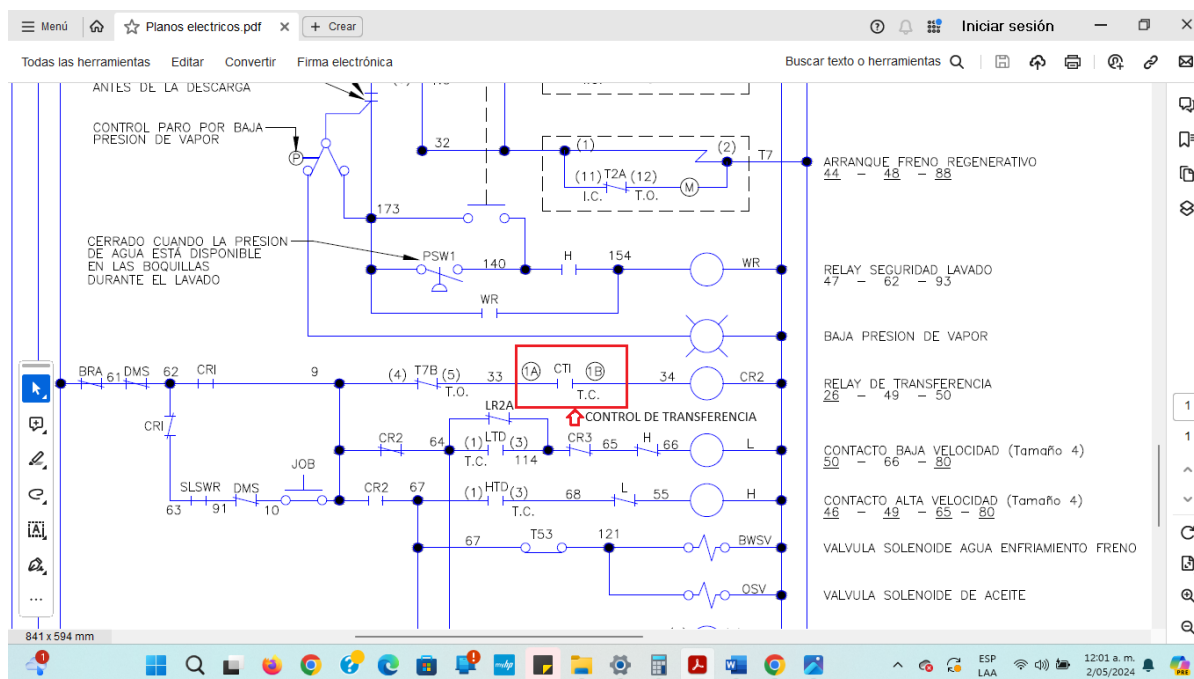
**CTI**

Control de relé de transferencia, una vez la máquina carga de forma manual o automática, este contacto seco, permite los cambios de velocidad (600 rpm para carga y 1200 rpm para lavados), de la centrífuga, cuenta con un motor principal tipo Dahlander, el cual tiene seis bobinas que dependiendo del tipo de conexión puede conmutar los polos para lograr variar la velocidad para el ciclo de carga y el ciclo de lavado. Este contacto seco (CTI), del controlador de transferencia energiza el relé CR2 quien es el encargado de las velocidades que debe tener para cada ciclo de la centrífuga.

Ahora se observa la representación del contacto seco CTI correspondiente, integrado dentro de la lógica cableada con la que fue implementado originalmente.

**Figura 11**

*Ubicación del Contacto CTI Lógica Cableada*



*Nota.* planos del controlador seco integrado dentro de la lógica cableada. Tomado de. ingenio Sancarlos.

**M-B**

El diseño original de la máquina tiene los dos terminales del motor en borneras externas con la finalidad de ser reemplazo en el menor tiempo posible.

En la figura 12 se observa la representación de los terminales **M-B** correspondiente integrado dentro de la lógica cableada con la que fue implementado originalmente.



### ***Controlador de Reciclo***

Este controlador de reciclo es el encargado de ejecutar un nuevo ciclo completo de la máquina, un ciclo completo con lavados, carga, separación de mieles y finalmente descarga. A continuación, se describe detalladamente la función de cada uno de estos cuatro contactos y el papel que desempeñan en la estrategia de control.

Por medio de la siguiente figura se presenta el estado inicial del controlador, permitiendo visualizar su configuración y condiciones operativas en el sistema.

### **Figura 13**

#### ***Controlador de Reciclo Interno***



*Nota.* foto tomada en el ingenio.

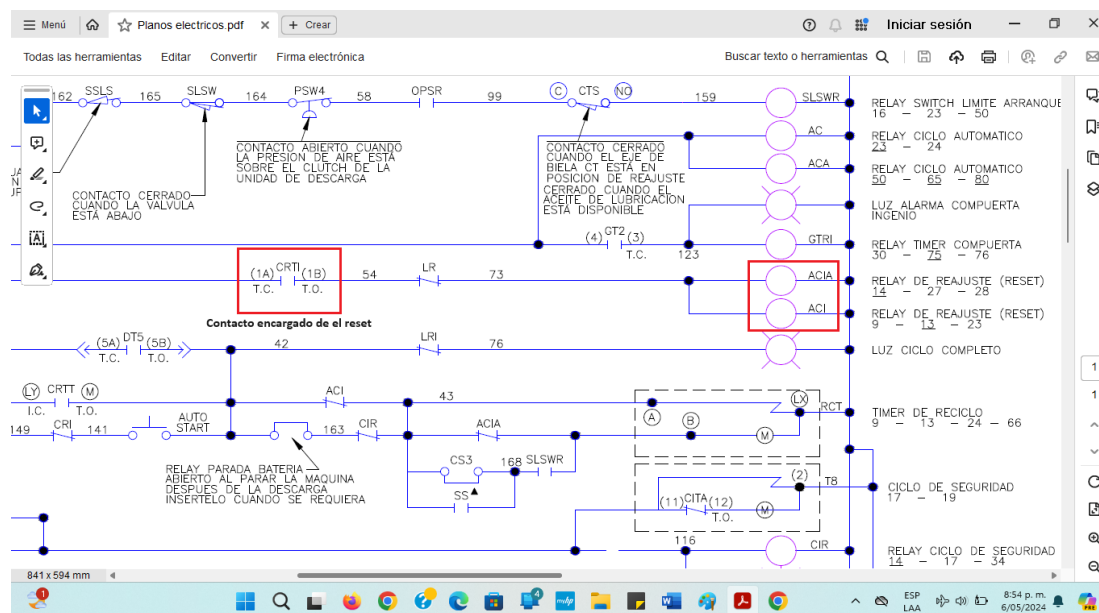
## CRTI

Este primer contacto del controlador es el encargado de dar el Reset general de la máquina, energizando los relés ACIA y ACI, cuyos contactos auxiliares preparan la centrifuga para un nuevo ciclo de centrifugado en estado de reposo eléctrico.

Representación gráfica del contacto seco (CRTI) utilizado en la lógica del sistema.

**Figura 14**

### Contenido de Reset Control Eléctrico



*Nota.* Plano del contacto seco (CRTI). Tomado de. ingenio Sancarlos.

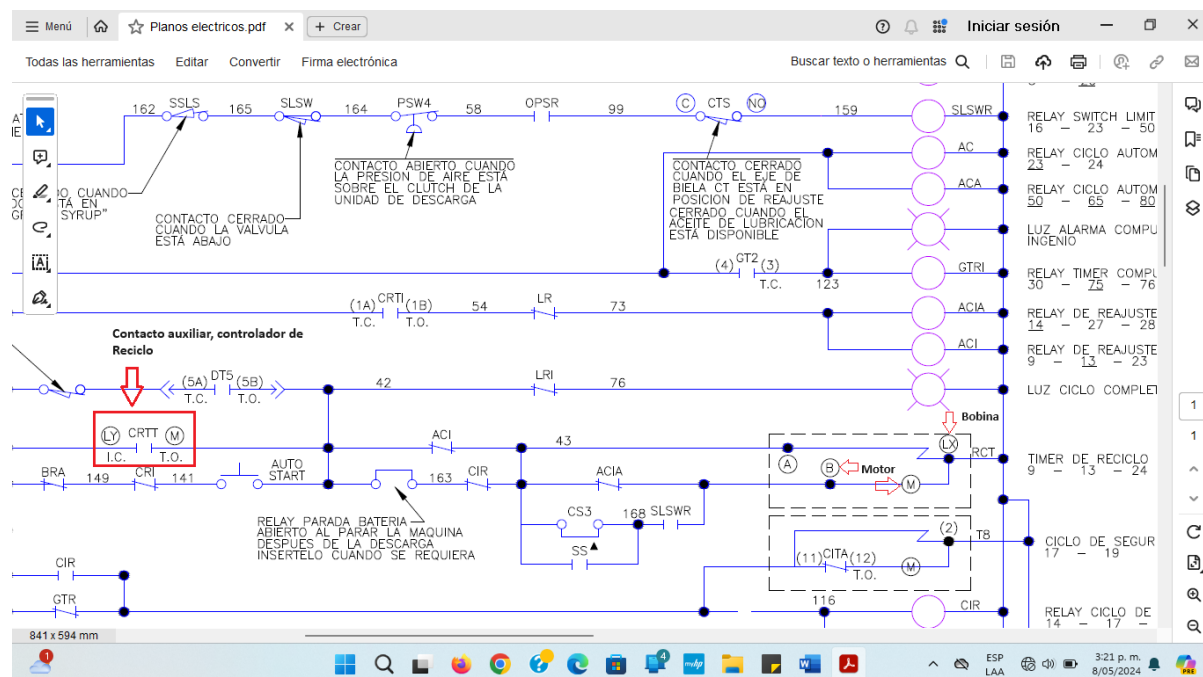
## CRTT

Este contacto auxiliar es el encargado de energizar el motor y la bobina de retención, lo que permite que los demás contactos que posee el controlador se ejecuten de forma correcta y sincronizada.

La figura 15 detalla la disposición de un contacto seco (CRTT) como parte del circuito de mando del motor.

**Figura 15**

### Contacto Inicio Temporizador del Controlador



*Nota.* Plano de circuito de mando (CRTT). Tomado de ingeniero Sancarlos.

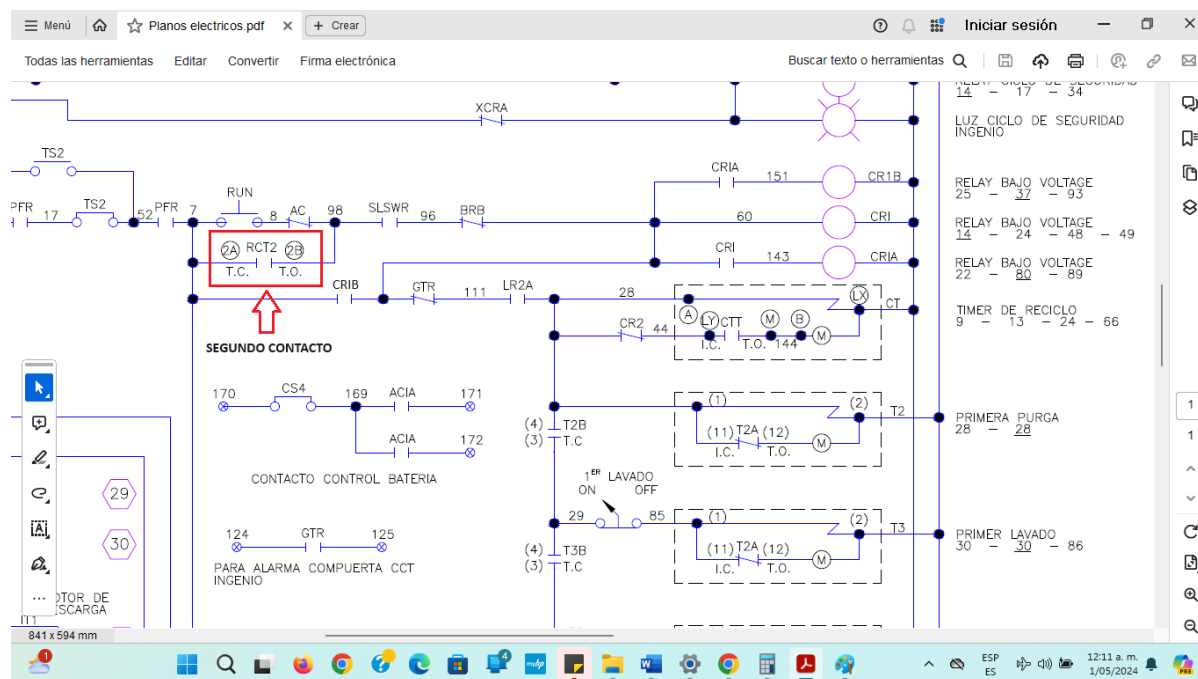
### RCT2

Este contacto es el responsable de energizar tres relés más (CR1B, CR1, CR1A), los cuales son los encargados de garantizar las condiciones eléctricas previas para que el motor principal empiece a moverse de forma segura, es decir, bloqueando la posibilidad que los elementos de control de las velocidades entren paralelamente, lo que ocasionaría un cortocircuito en la alimentación principal del motor.

La siguiente figura permite visualizar cómo se integra un contacto seco (RCT2) en la arquitectura de control cableado de la centrífuga Roberts.

**Figura 16**

*Contacto de Arranque del Motor Principal*



*Nota.* Plano de contacto seco RCT2. Tomado de. ingenio Sancarlos.

**RCT3**

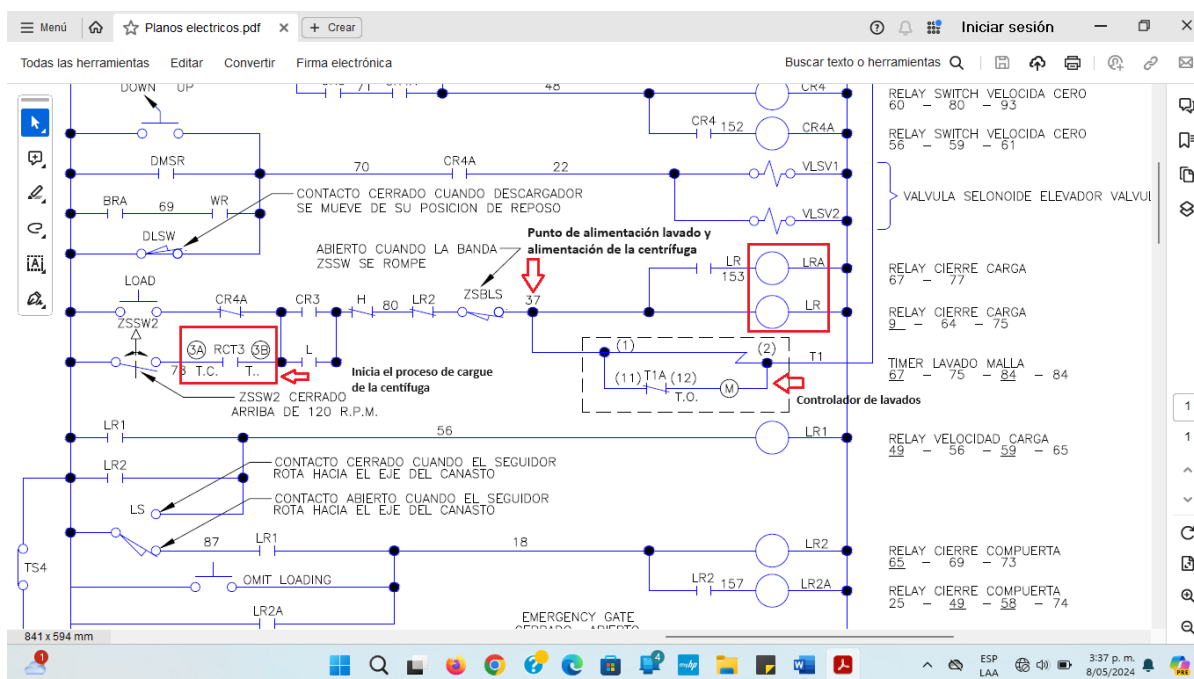
Este contacto tiene un papel importante ya que se encarga de cargar nuevamente la centrífuga de forma automática, también permite que unos segundos antes de iniciar la carga haga el lavado de las mallas, lo cual es importante ya que de no hacerlo se acumularía restos de meladura que con el tiempo obstruye o taponada por completo las mallas separadoras.

A raíz de la vejez de estos controladores esta función que corresponde al ciclo automático de carga ya no está disponible dado que el contacto asignado para esta tarea estaba fuera de servicio por daños en la biela de desplazamiento radial.

En esta representación se observa el papel funcional del contacto (RCT3) seco dentro del esquema eléctrico.

**Figura 17**

### *Ejecución de la Carga de Forma Automática*



*Nota.* Plano de contacto seco RCT3. Tomado de. ingenio Sancarlos.

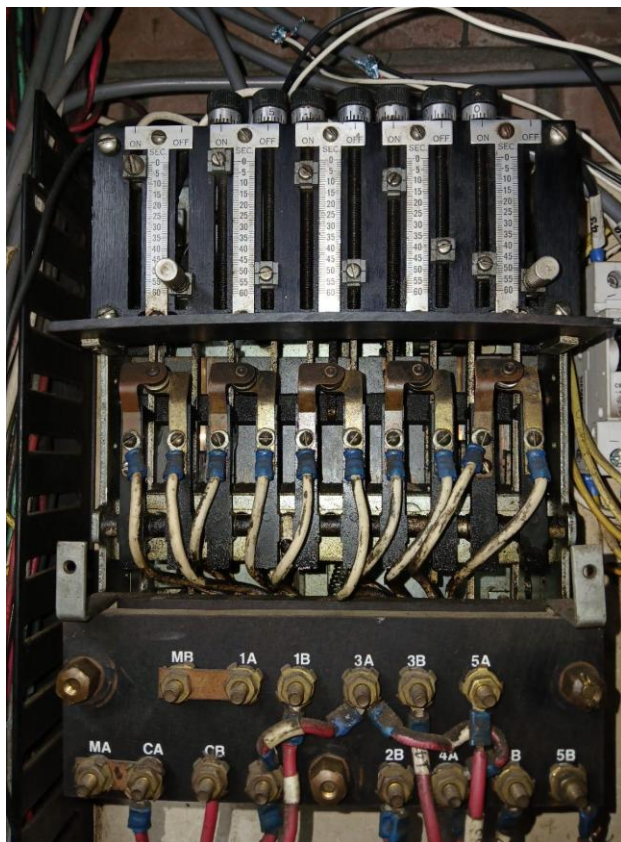
### ***Controlador de Descarga***

La centrífuga está equipada con dos motores esenciales para su operación. El motor principal, un tipo Dahlander trifásico de 150 HP, que genera la fuerza centrífuga necesaria para separar el cristal de la miel, el segundo motor, más pequeño y de 5 HP trifásico convencional, es el motor de reversa. Este motor permite el giro contrario de la canasta, facilitando el arado del azúcar.

Como su nombre lo indica, este controlador se encarga de la descarga del azúcar una vez se hayan cumplido las condiciones necesarias, incluyendo los lavados, válvula solenoide de descargar, válvula de salida y entrada arado y válvula solenoide Clutch de descarga.

Este controlador, a través de una interfaz de potencia como el relé, acciona los actuadores que permiten la evacuación del azúcar al finalizar el ciclo. Este controlador dispone de cinco contactos que le permiten ejercer control sobre los siguientes elementos: el motor de reversa, el cilindro del arado y el cilindro de descenso.

Previamente, se realizó una revisión detallada de cada uno de los contactos con el fin de determinar los requerimientos de hardware para el nuevo controlador electrónico en la siguiente ilustración se presenta el estado actual del controlador de descargar, permitiendo visualizar su configuración y condiciones operativas y físicas en el sistema.

**Figura 18***Controlador de Descarga*

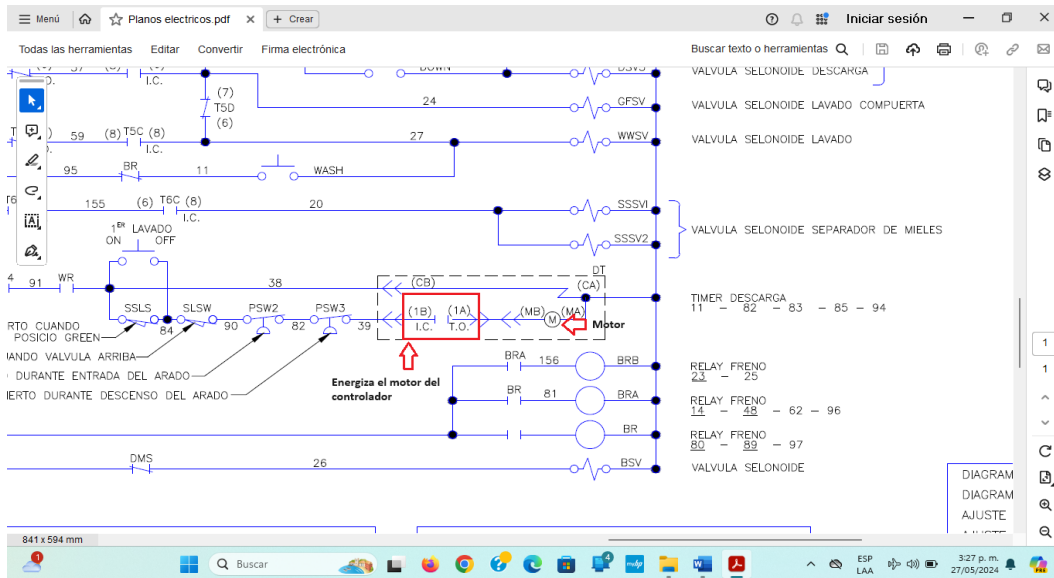
*Nota.* Foto tomada en el ingenio.

***1B -1A***

Corresponde a los terminales del motor del controlador que transmite el movimiento a las bielas por donde se desplazan los contactos del controlador y ejecutan cada función.

**Figura 19**

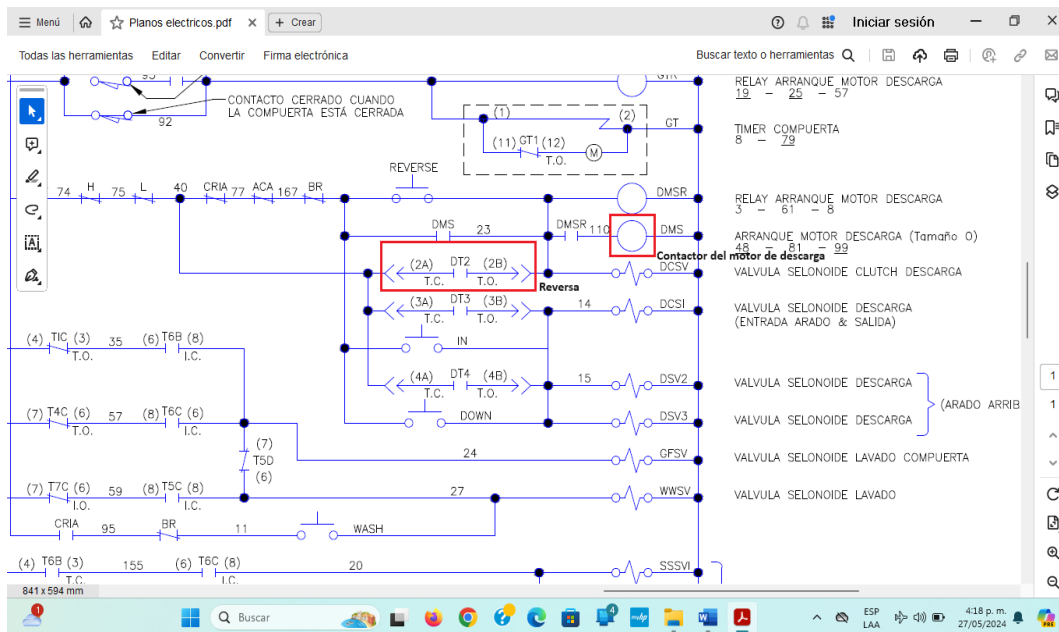
*Contacto de Accionamiento de Descarga*



*Nota.* Plano de terminales del controlador. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

**DT2**

Este contacto activa el motor de reversa, cuya función es permitir la descarga del azúcar una vez finalizado el proceso de centrifugado.

**Figura 20***Contacto de Controlador Motor de Reversa*

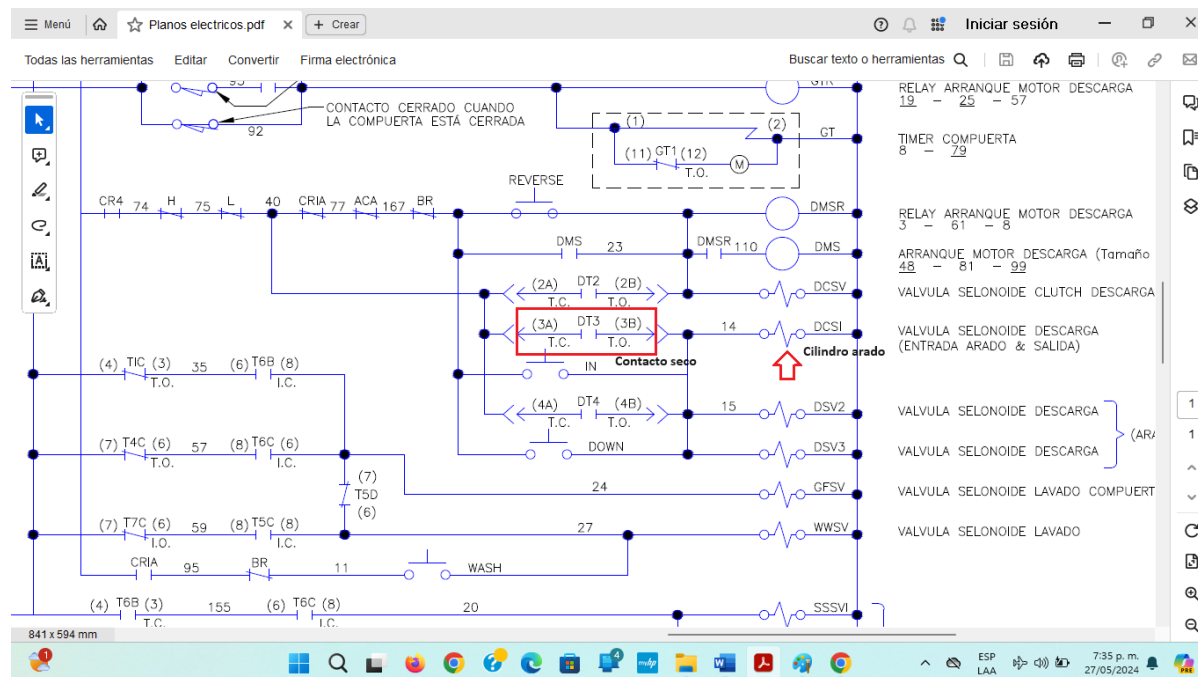
*Nota.* Plano contacto de reserva. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

**DT3**

Este contacto activa el cilindro del arado, el cual rompe el colchón de azúcar al raspar las paredes de la canasta y facilitar la evacuación del material. En la figura siguiente se observa la representación funcional de este contacto dentro del esquema eléctrico del sistema.

**Figura 21**

*Contacto Seco del Cilindro del Arado*



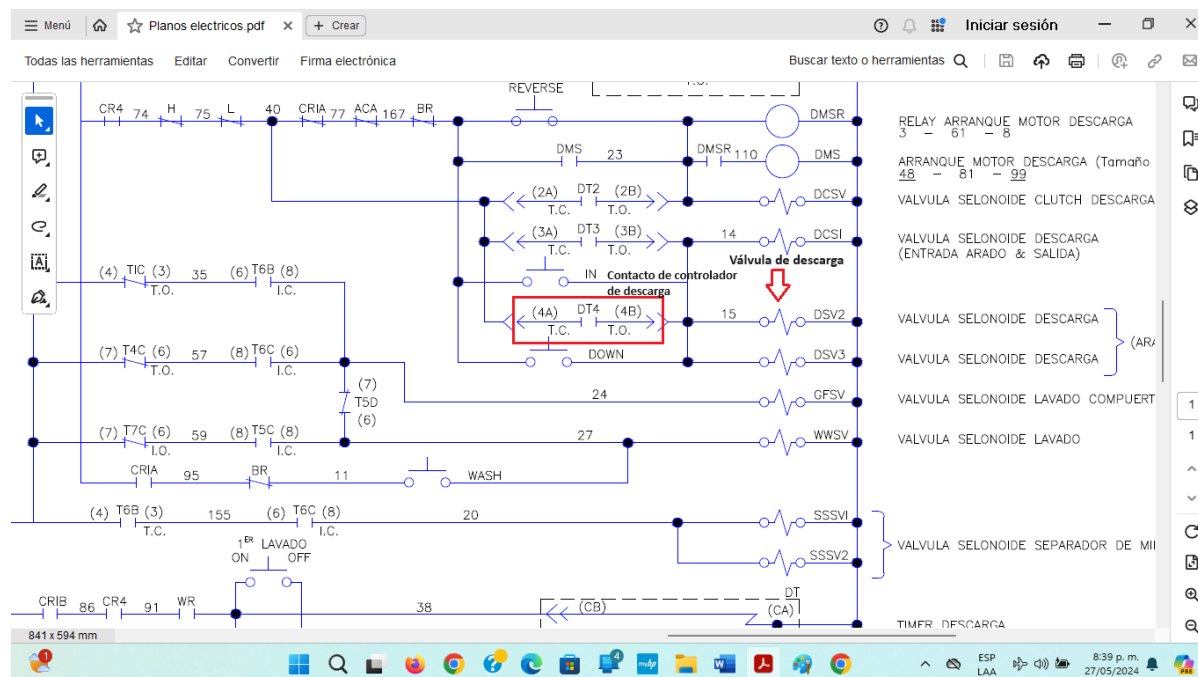
*Nota.* Plano de contacto del cilindro del arado. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

**DT4**

Este contacto energiza una electroválvula que acciona el descenso del brazo raspador de la canasta, permitiendo así la evacuación del material residual. En la figura siguiente se muestra su integración funcional dentro del esquema eléctrico del sistema.

Figura 22

## Contacto Seco del Controlador de Descarga



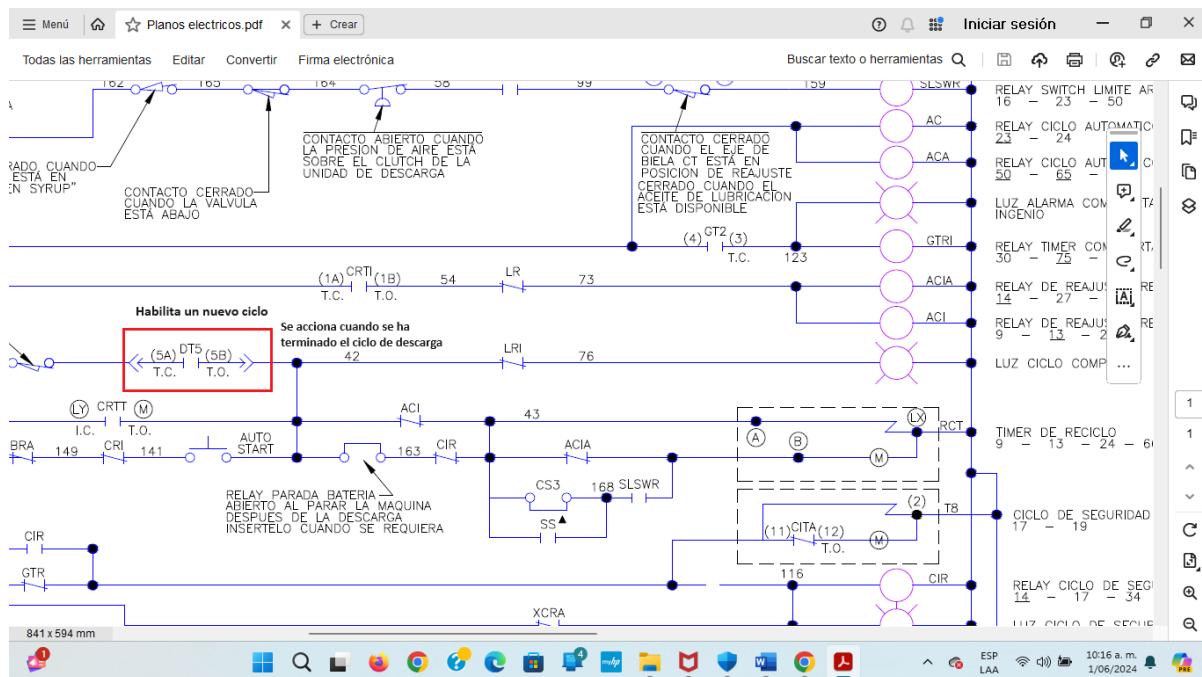
*Nota.* Plano de esquema eléctrico de controlador de descarga. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

**DT5**

Este contacto proporciona la condición lógica necesaria para la ejecución de un nuevo ciclo. Al activarse, indica al controlador de reciclo la finalización del ciclo anterior, habilitando el inicio del siguiente. En la siguiente figura se visualiza su función dentro del esquema eléctrico de control.

Figura 23

Contacto Seco Controlador de Descarga



Nota. Plano de controlador de reciclo. Tomado de. Ingenio Sancarlos.

Ahora se muestra el estado actual de los temporizadores electromecánicos de lavado instalados en la centrífuga Roberts. Estos temporizadores regulan los tiempos de cada ciclo de lavado, asegurando que las fases se ejecuten en el orden y duración correctos para garantizar un color del azúcar deseado.

**Figura 24**

*Vista Delantera del Temporizador*



*Nota.* Foto tomada en el ingenio.

**Figura 25**

*Vista Trasera Temporizador*



*Nota.* Foto tomada en el ingenio.

## **Diseñar la Solución**

Con base en el análisis de la fase anterior, se determinó el hardware requerido:

### **Controlador de transferencia**

Una entrada digital y cuatro salidas que por el tipo de accionamiento de los actuadores será por relé.

### **Controlador de reciclado**

Dos entradas digitales a 110Vca y cuatro salidas por relé.

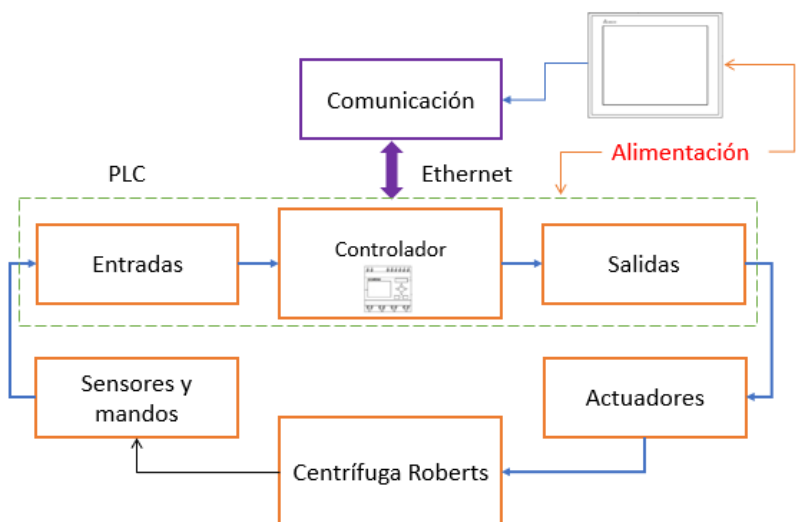
### **Controlador de descarga**

Dos entradas digitales 110Vca y cinco salidas por relé.

### **Temporizadores de purgas y Lavados**

Dos entradas digitales 110Vca y seis salidas por relé.

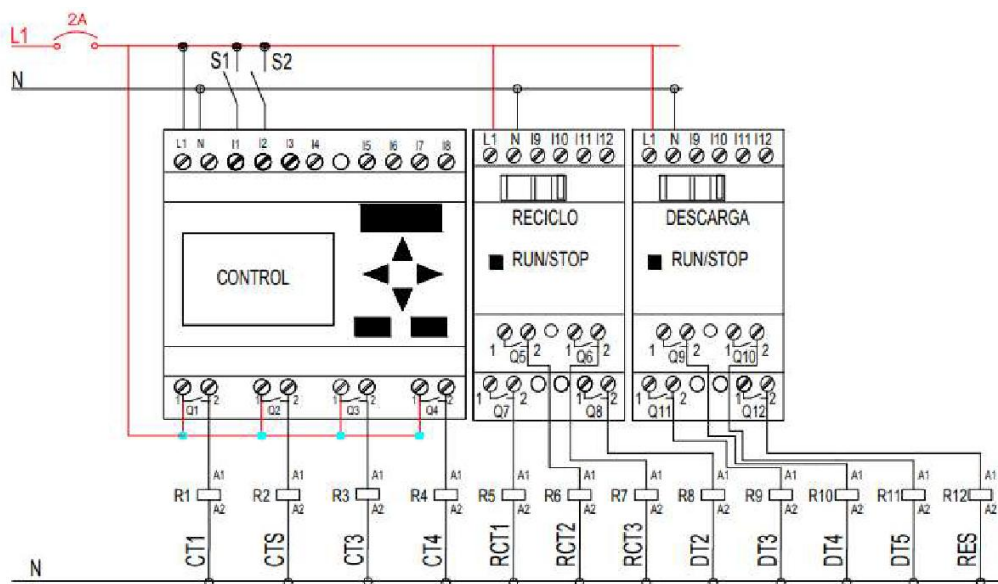
Dentro de la migración propuesta, se implementará una HMI de la marca DELTA que integrará los siete temporizadores, con el objetivo de hacer la operación de la máquina más intuitiva y confiable. Para garantizar una comunicación eficiente y rápida, la HMI estará conectada al PLC mediante un protocolo Ethernet, lo que permitirá un intercambio de datos robusto, estable y con capacidad para supervisar y controlar en tiempo real los estados de los temporizadores.

**Figura 26***Arquitectura Propuesta*

*Nota.* Arquitectura planteada para la implementación del control.

En la parte superior derecha de la figura está la pantalla de la marca DELTA, que se comunicará mediante el protocolo ethernet con el PLC logo de la marca Siemens.

A continuación, se muestra el conexionado eléctrico de las salidas del PLC hacia los actuadores responsables de las tres funciones primordiales (transferencia, recicló y descarga) de la centrífuga Roberts.

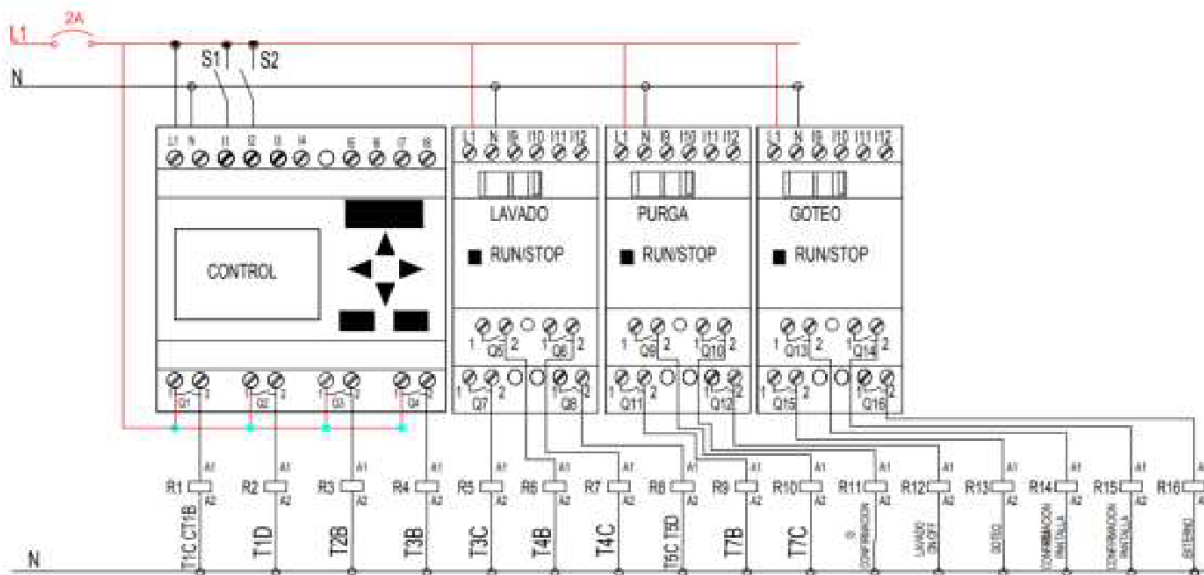
**Figura 27***Diagrama de Conexión Tres Controladores*

*Nota.* Esquema de conexión que representa la configuración de tres controladores en red.

A continuación, se muestra el conexionado eléctrico de las salidas del PLC hacia los actuadores responsables de los ciclos de lavado del azúcar.

**Figura 28**

*Diagrama de Conexión para los Lavados*



*Nota.* Conexión del sistema de lavados con controladores, sensores y actuadores integrados.

Para lograr la comunicación de forma sencilla pero funcional, se usó el protocolo ethernet lo que exigió que también el PLC tuviera disponible este protocolo de comunicación para el intercambio de datos entre la pantalla y el PLC.

La siguiente figura representa la pantalla DELTA utilizada como interfaz hombre-máquina para la asignación y control de tiempos.

**Figura 29**

*Modelo Pantalla Táctil HMI, DOP-B07E415*



*Nota.* Pantalla táctil HMI. Tomado de. Pantalla touch. (2025).

<https://laumayer.com/productos/pantallas-touch/>

En la siguiente tabla se puede observar las entradas y salidas digitales por relé para los tres controladores principales, lavados y purgas

**Tabla 1**

*Entradas y Salidas Digitales por Relé*

| Controlador             | Tipo de entrada y cantidad | Cantidad de entradas | Tipo de salida y cantidad | Cantidad de salidas |
|-------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| Transferencia           | Digital (110Vac)           | 1                    | Relé                      | 4                   |
| Reciclo                 | Digital (110Vac)           | 2                    | Relé                      | 4                   |
| Descarga                | Digital (110Vac)           | 2                    | Relé                      | 4                   |
| Lavados, purgas y goteo | Digital (110Vac)           | 1                    | Relé                      | 6                   |
| <b>Total</b>            |                            | <b>6</b>             |                           | <b>18</b>           |

*Nota.* Entradas digitales (110 Vac) y salidas por relé asignadas a cada controlador.

Con toda la información recolectada tanto de entradas y salidas se determinó el tipo de hardware. Para implementar la interfaz hombre maquina (HMI) el controlador tiene disponible el protocolo de comunicación ethernet, entradas digitales (110Vc) y salidas por relé.

Para la interfaz de potencia, es decir, el accionamiento de actuadores (cilindros, electroválvulas y contactores) se usaron dos tipos de relé, el LZXPT5700 de 14 pines la marca siemens con bobina a 24Vdc y cuatro contactos secos disponibles. En la siguiente ilustración se visualizan estos equipos.

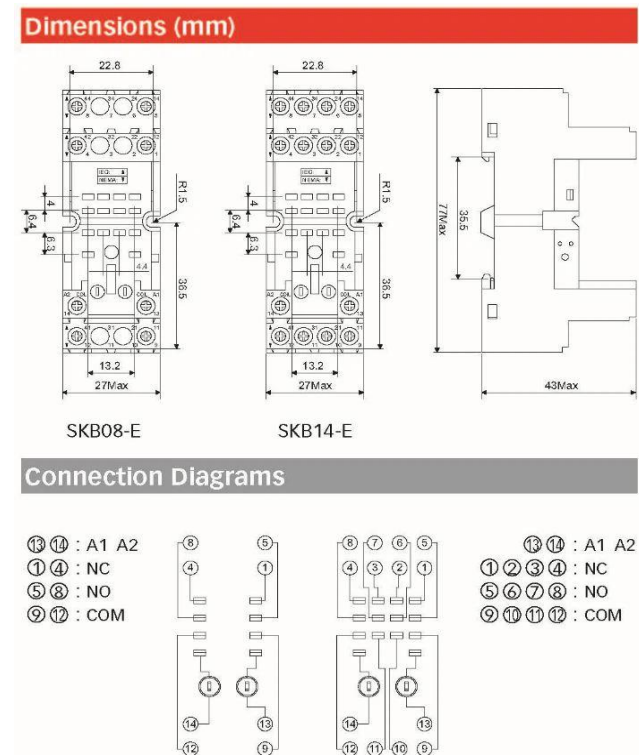
### **Figura 30**

*Relé para hacer la Interfaz con los Actuadores*



*Nota.* Relé Siemens de 14 pines con bobina a 24 Vdc y cuatro contactos secos. Tomado de. LZX:PT570024. (2022).

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/?mlfb=LZX%3APT570024>

**Figura 31***Dimensiones y Conexión de Relé*

*Nota.* Dimensiones y diagrama de conexión relé LZXPT5700. Tomado de. LZXPT5700. (2022).

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/Product/?mlfb=LZX%3APT570024>

El segundo relé, con el objetivo de optimizar el espacio en el gabinete, será un modelo tipo Slim de un solo contacto, con bobina de control alimentada a 110Vac.

**Figura 32**

*Relé para hacer la Interfaz con los Actuadores*

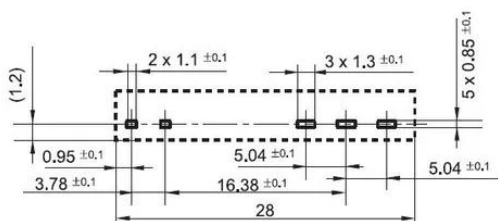


*Nota.* Relé tipo Slim de un solo contacto y bobina de control. Tomado de.

<https://sieportal.siemens.com>

**Figura 33**

*Dimensiones y Conexión*



1 Form C



*Nota.* Vista detallada de las dimensiones físicas y el esquema de conexión del relé. Tomado de.

<https://sieportal.siemens.com>

Según el análisis realizado, el PLC LOGO con CPU 6ED1052-1FB00-0BA8 de la marca SIEMENS, se ajustó a los requisitos, además de cumplir con los aspectos técnicos y funcionales, también se cuenta con la licencia de software legal.

Por otra parte, revisando en detalle del número de entradas y salidas del controlador PLC, es necesario usar dos PLC para cubrir el número de entradas y salidas necesarias para hacer completamente la migración, un primer PLC se usa para migrar los tres controladores (*reciclo, descarga y transferencia*), el segundo PLC se usará para integrar todos los lavados, purgas y el frenado regenerativo; según las cosas aparte de los dos PLC se necesita cinco módulos de expansión DM8 230R, como se puede observar en la siguiente figura

#### **Figura 34**

*Módulo de Expansión PLC LOGO*



*Nota.* Dispositivo de expansión utilizado para aumentar la capacidad de control en sistemas automatizados. Tomado de. <https://sieportal.siemens.com>

PLC que se usara para sustituir los controladores electromecánicos.

**Figura 35**

*PLC Siemens DMR 230R*



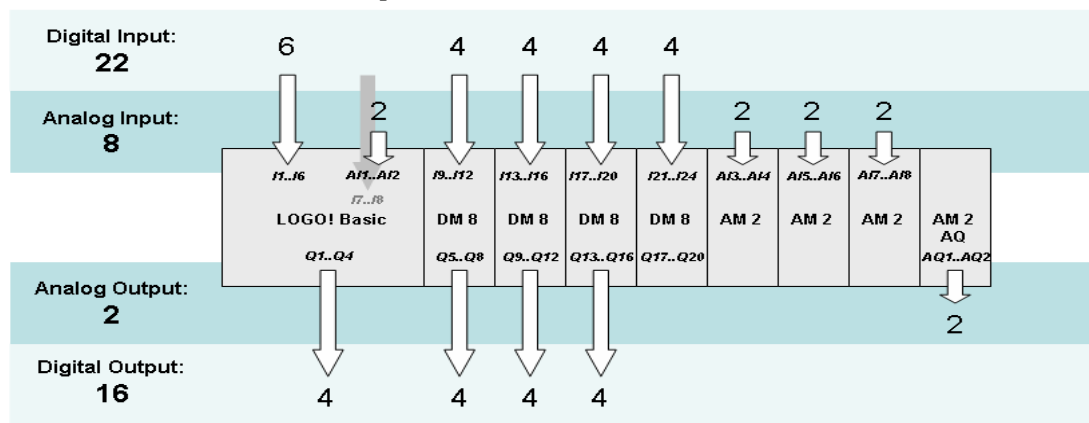
*Nota.* Controlador lógico programable Siemens DMR 230R. Tomado de. 6ED1055-1FB00-0BA2. (2022). <https://sieportal.siemens.com/es-es/home>

Capacidad de entradas y salidas del controlador Siemens seleccionado para el proyecto.

Esta figura ha sido tomada del catálogo oficial de la marca Siemens como referencia técnica.

**Figura 36**

*Estructura Hardware Correspondiente*



*Nota.* Esquema de entradas y salidas del controlador. Tomado de.

<https://sieportal.siemens.com/es-es/home>

Con base en esta figura, la cual fue tomada de la página oficial de siemens, se revisó el número máximo de entradas y salidas que soporta esta CPU para determinar el tipo de PLC y Pantalla HMI usada.

A continuación, se presenta la tabla con el detalle de cantidades y elementos requeridos para la implementación del sistema, según el diseño propuesto.

**Tabla 2**

*Cantidad de Elementos para la Implementación del Sistema*

| Elemento                                    | Cantidad |
|---|----------|
| PLC 6ED1052-1FB00-0BA8                      | 2        |
| Módulo de expansión DM8 230R                | 5        |
| Mini breaker EATON 2 M                      | 3        |
| Fuente SITOP PSU100C 2,5 <sup>a</sup> 24Vcd | 1        |
| Cable línea abierta número 18               | 100 m    |
| Pantalla HMI DELTA DOP-B07E415.             | 1        |
| Cofre de 40x60x30                           | 1        |
| Borneras para riel DIN                      | 80       |
| Cable ethernet cat 5                        | 40m      |

*Nota.* Listado de componentes utilizados en el sistema de automatización.

## Implementar

### Programación de PLC LOGO Siemens

Para la programación de este PLC logo, la empresa Ingenio Sancarlos compró el software con un distribuidor autorizados de siemens Colombia, partiendo de este este requerimiento técnico para la programación, relaciono el software mencionado.

#### Figura 37

*Software Logo Soft Conform V8*



*Nota.* Herramienta para programación, simulación y configuración de controladores lógicos programables. Tomado de. <https://sieportal.siemens.com/es-es/home>

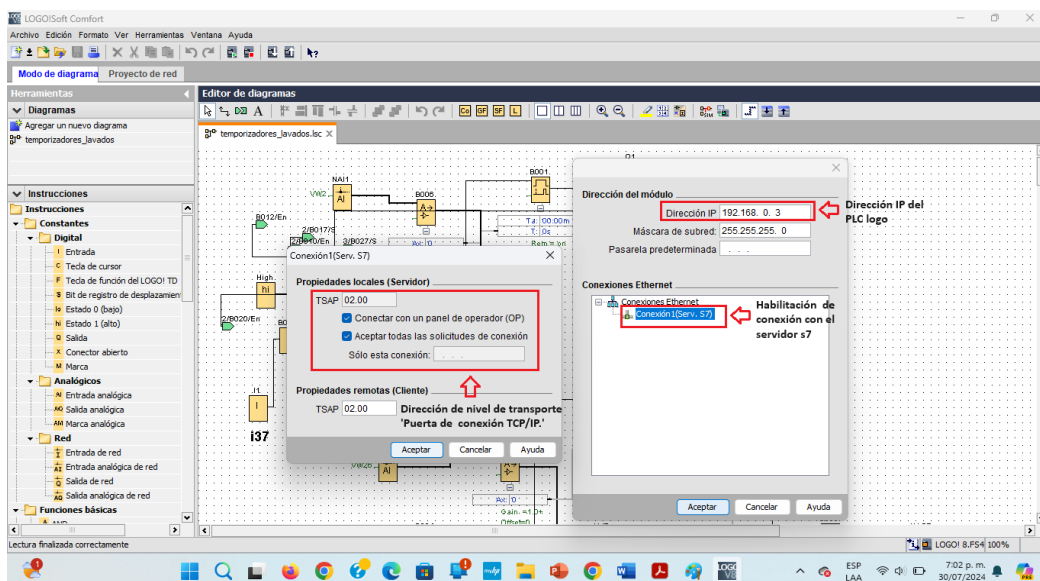
## Configuración de PLC logo

Para establecer una correcta comunicación entre la pantalla DELTA y el PLC Logo, lo primero que se hizo fue configurar el servidor adecuado en la ventana de herramientas de conexión. En este caso particular, se establecerá la comunicación con el servidor S7 disponible para dicha configuración.

En este paso se asigna la dirección IP del PLC y el puerto de conexión TCP/IP necesario para permitir la comunicación entre el controlador y la pantalla. En la siguiente figura, se muestra cómo se realizó esta configuración.

**Figura 38**

### Configuración Protocolo Ethernet en PLC Logo

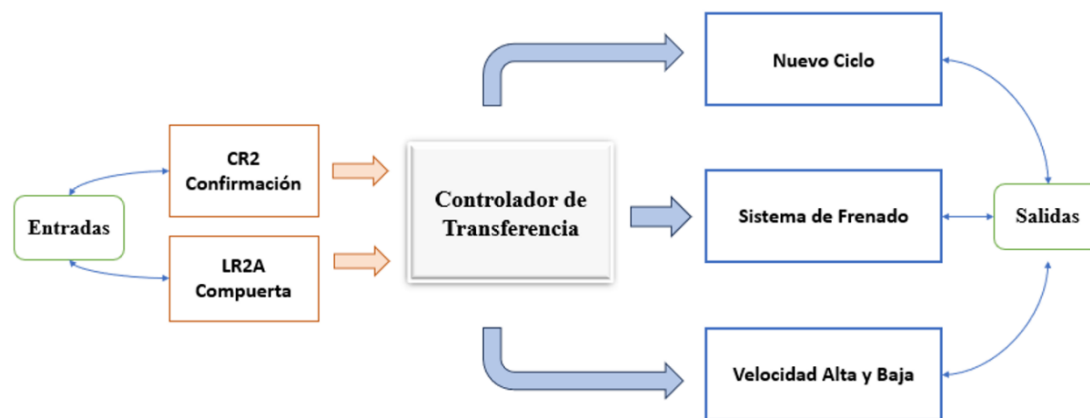


*Nota.* Diseño de protocolo de Programador Lógico Programable LOGO.

Diagrama de bloques de función correspondiente al controlador de transferencia, donde se representan gráficamente los procesos lógicos definidos para la gestión automatizada del controlador.

**Figura 39**

*Función del Controlador de Transferencia*



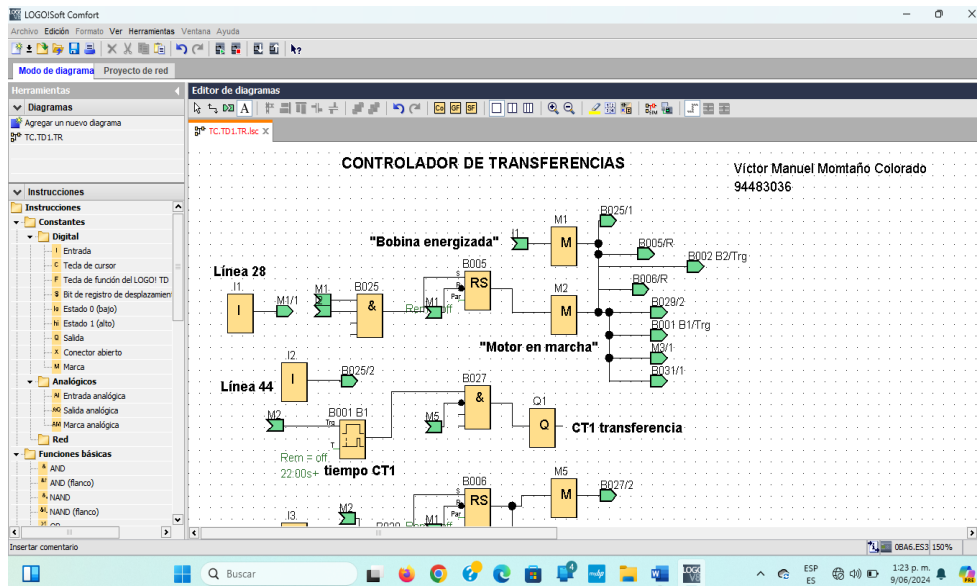
*Nota.* Diseño lógico en bloques del funcionamiento del controlador de transferencia.

Para la programación del PLC, el software ofrece varios lenguajes como es el caso del FUP y KOP por temas de afinidad del diseño se realizó con el lenguaje FUP que corresponde a bloques de funciones lógicas, que permite hacer instrucciones avanzadas de forma interconectada entre los bloques.

Ahora se presenta la programación del controlador de transferencia desarrollada en el entorno LOGO Soft Comfort V8.3, correspondiente a la lógica definida para el controlador.

Figura 40

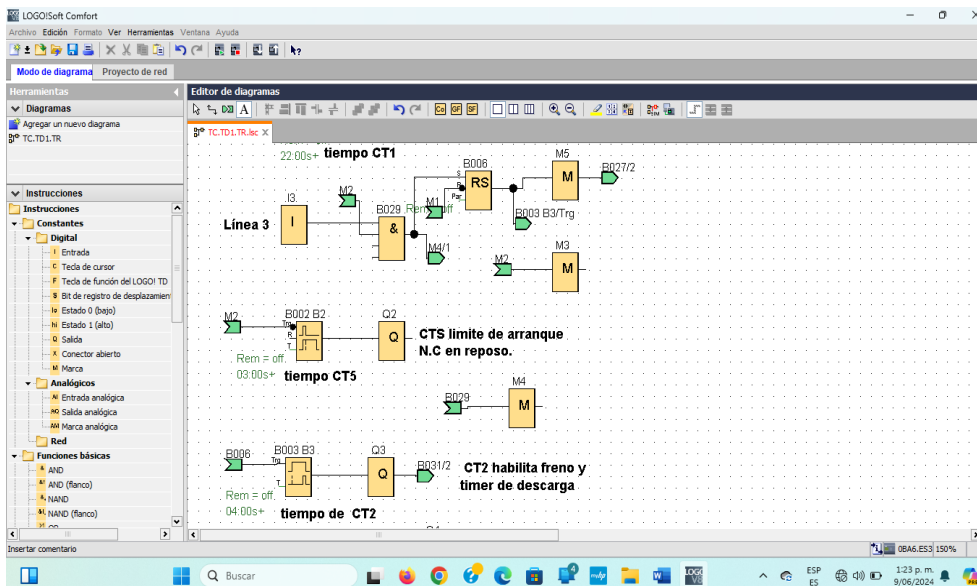
Programación del Controlador de Transferencia



Nota. Programación del PLC usando el lenguaje FUP en LOGO.

Figura 41

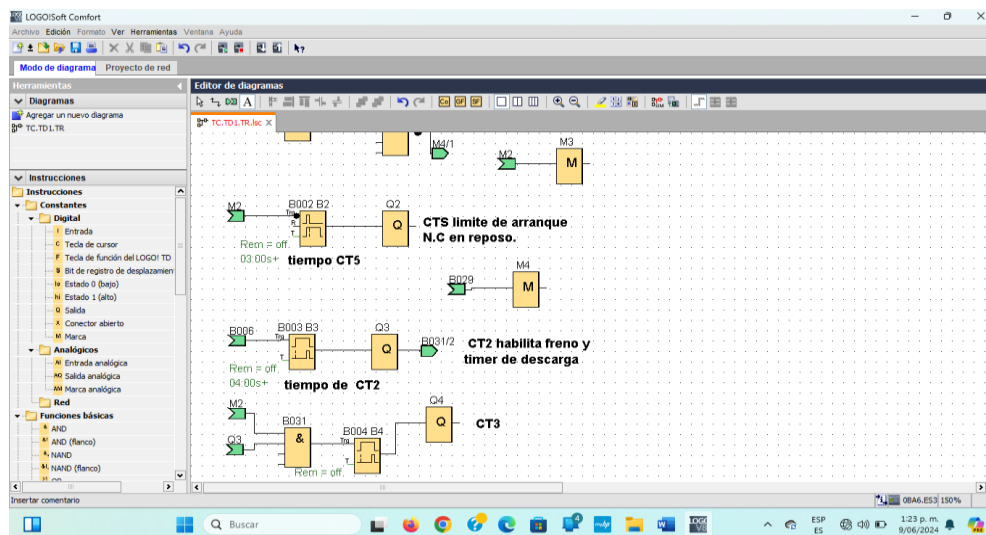
Continuación de Programación del Controlador de Transferencia



Nota. Programación del controlador de transferencia en LOGO.

**Figura 42**

*Continuación Programación del Controlador de Transferencia*



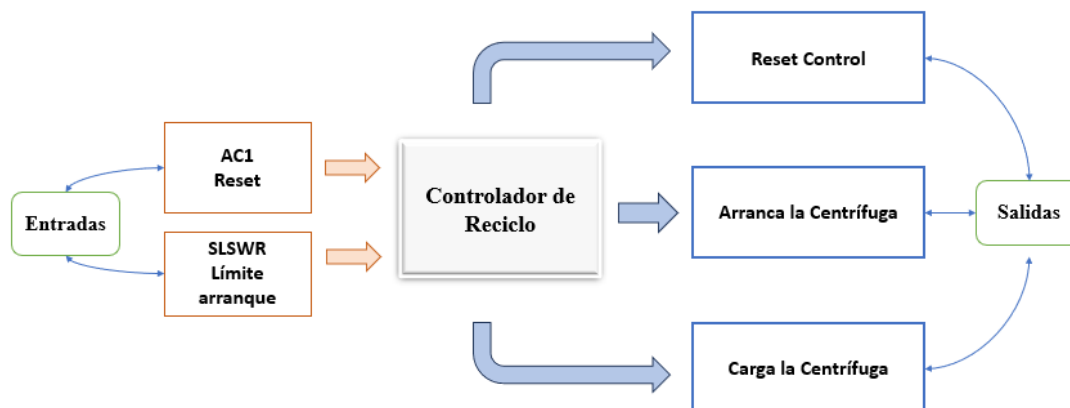
*Nota.* Diseño de programación de controlador de transferencia en LOGO.

Como se puede ver en las figuras, allí se tiene todos los contactos que tiene el anterior controlador electromecánico. Estos contactos fueron reemplazados por programación y por cuatro salidas físicas del controlador (Q1 = CT1, Q2 = CTS, Q3 = CT2, Q4 = CT3).

Diagrama de bloques de función correspondiente al controlador de reciclado, donde se representan gráficamente los procesos lógicos definidos para la gestión automatizada del controlador.

**Figura 43**

*Función del Controlador de Reciclo*



*Nota.* Representación del funcionamiento del controlador de Reciclo.

Para el desarrollo del controlador de reciclo, al igual que el controlador anterior, se empleó el entorno LOGO Soft Comfort V8.3, utilizando el lenguaje FUP (function block diagram).

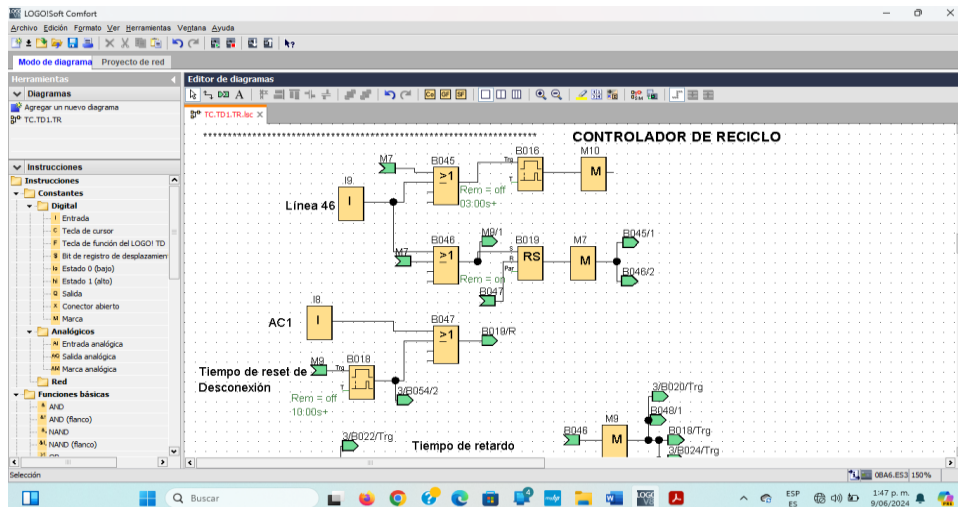
La programación implementada para este controlador está acompañada de ilustraciones técnicas insertadas en el presente documento, las cuales describen detalladamente su secuencia lógica y funcional. En las ilustraciones permiten observar con claridad el flujo de operaciones, la lógica de control y la interacción entre los distintos elementos del sistema automatizado.

La programación fue desarrollada conforme a los requerimientos operativos de la centrífuga Roberts, haciendo uso de temporizadores, bloques de funciones, contactos auxiliares y condiciones lógicas que aseguran un funcionamiento seguro, eficiente y escalable. Las representaciones gráficas integradas en este trabajo no solo facilitan la comprensión del diseño

lógico, sino que también sirven como herramienta para la validación, el análisis y la implementación práctica del sistema en campo.

**Figura 44**

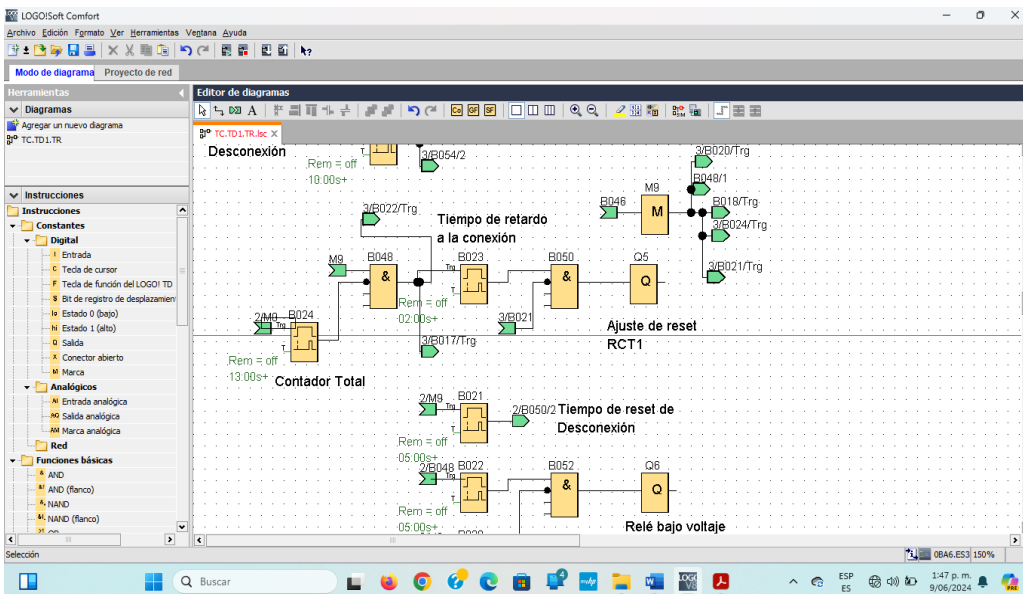
*Programación del Controlador de Reciclo*



*Nota.* Visualización de la programación de la centrífuga Roberts en LOGO.

**Figura 45**

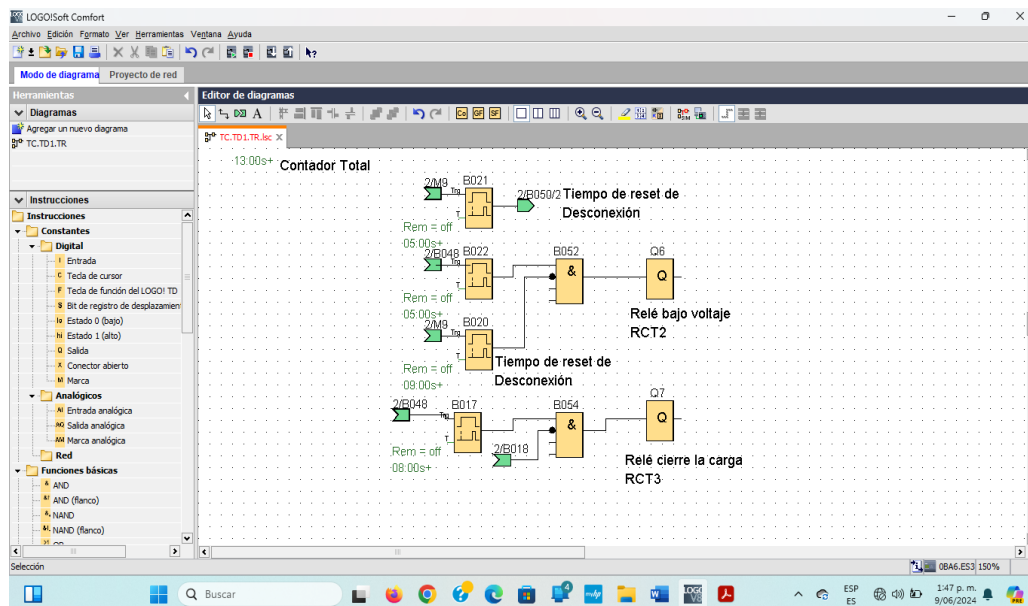
*Continuación Programación del Controlador de Reciclo*



*Nota.* Programación de la centrífuga Roberts en LOGO.

**Figura 46**

*Programación del Controlador de Reciclo en Software LOGO*



*Nota.* Diseño de programación de controlador de reciclaje en LOGO.

Los contactos del anterior controlador electromecánicos fueron sustituidos por los contactos secos del PLC y las entradas digitales I9 correspondientes a la línea 46 del plano, la entrada I8 corresponde a la línea de control de relé AC.

(Q5 = **RCT1**, Q6 = **RCT2**, Q7 = **RCT3**).

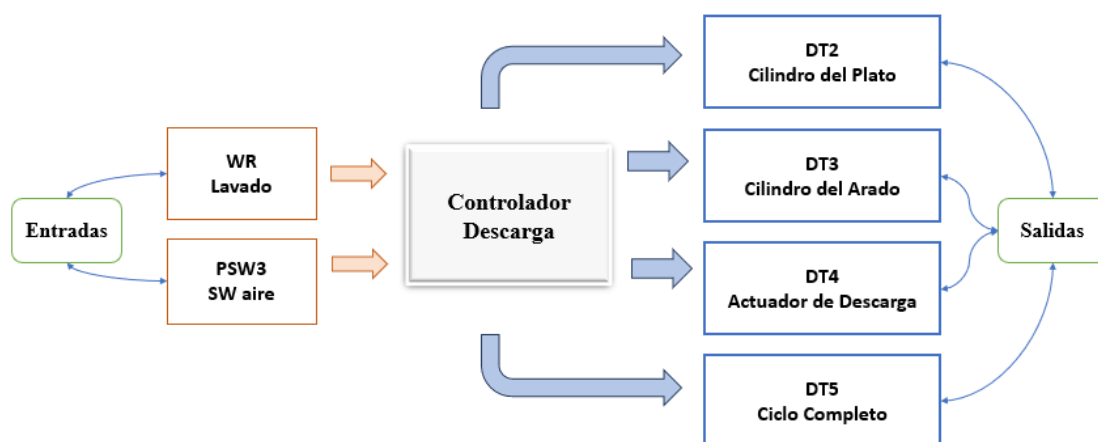
Finalmente se presenta la programación del último controlador que corresponde a la descarga de la máquina, para esta programación se tomó las entradas digitales I4 e I5 de las líneas correspondientes línea 38 = I4, línea 39 = I5.

Para el caso de las salidas (Q9 = DT2, Q10 = DT3, Q11 = DT4, Q12 = DT5) fueron reemplazadas por los contactos secos del PLC.

El siguiente diagrama de bloques de función es el correspondiente al controlador de descarga, donde se ilustran las señales de entrada y salida asociadas a la secuencia lógica que permite la evacuación del azúcar, integrando los actuadores responsables del proceso y las condiciones necesarias para su ejecución.

### Figura 47

#### *Función del Controlador de Descarga*

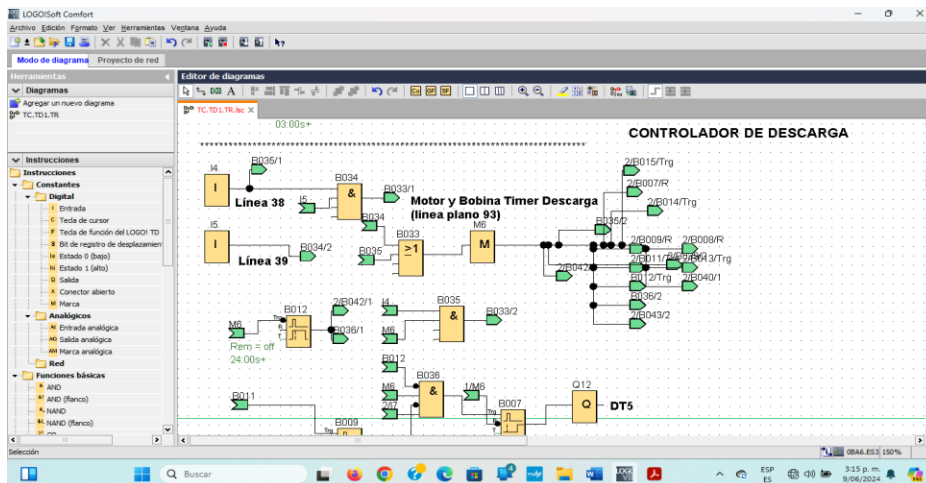


*Nota.* Esquema visual de señales de entrada y salida asociadas a la secuencia lógica.

Las siguientes capturas de pantalla corresponden a la programación del controlador de descarga, En esta sección se evidencia la lógica implementada para gestionar de forma automatizada cada una de las salidas involucradas en el proceso de evacuación del azúcar.

Figura 48

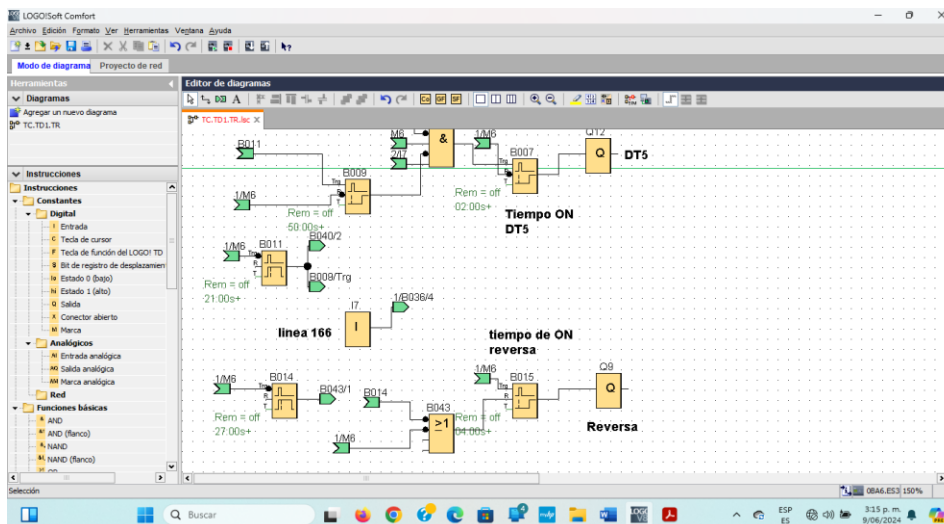
## Programación de Controlador de Descarga



Nota. Lógica automatizada implementada en las salidas en el proceso de evacuación de azúcar.

Figura 49

## Programación de Controlador de Descarga



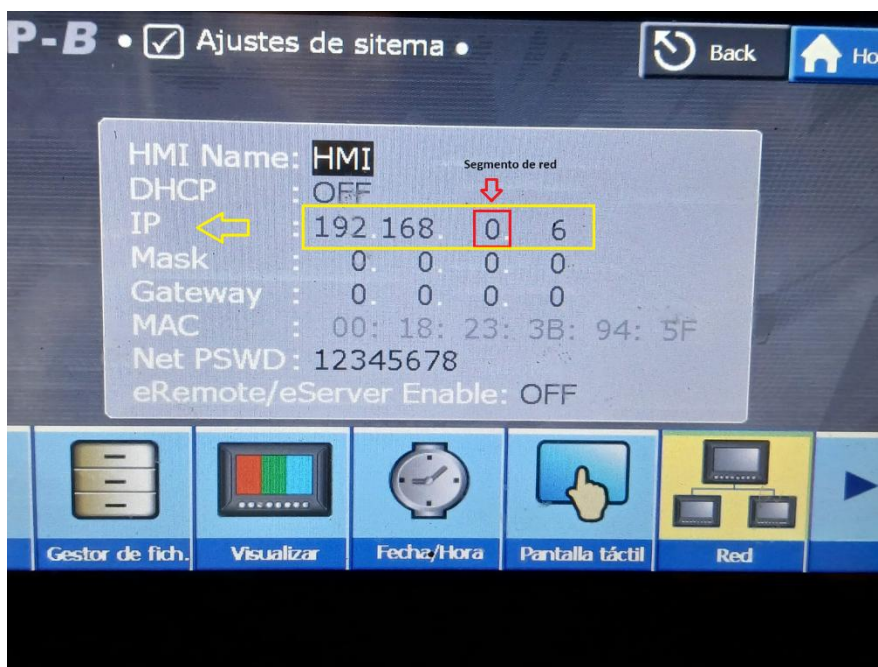
Nota. Lógica programada para el control automático del proceso de descarga de azúcar en

LOGO.

Configuración de la pantalla HMI DELTA. En este apartado se detalla el segmento de red correspondiente al PLC, cuya dirección IP por defecto es 192.168.0.3. La ilustración siguiente muestra la configuración de red asignada a la pantalla HMI DELTA, establecida dentro del mismo segmento de red para garantizar una comunicación efectiva mediante protocolo Ethernet entre ambos dispositivos.

### Figura 50

#### *Ajuste de IP de Pantalla HMI DELTA*



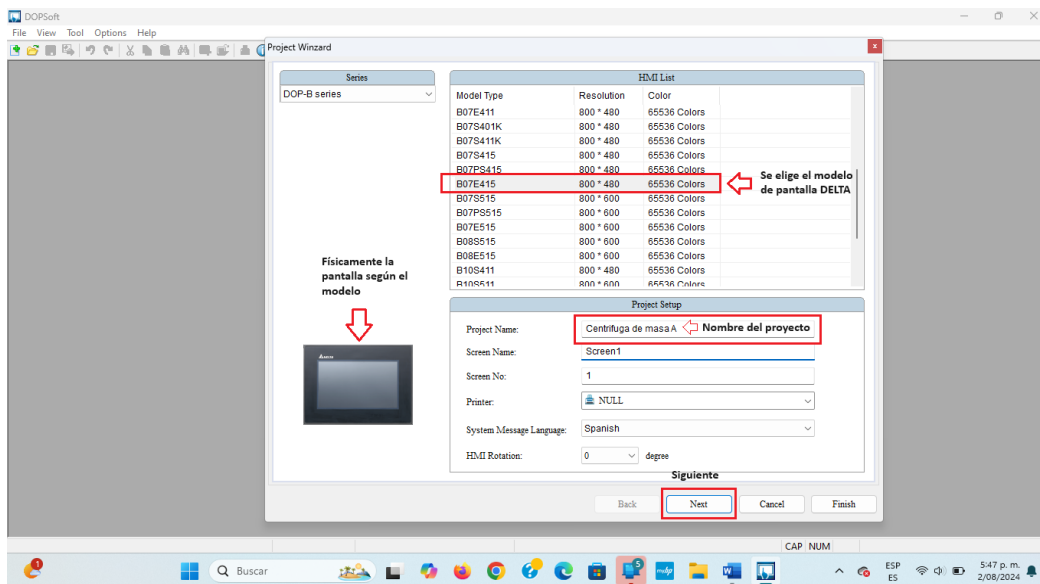
*Nota.* Visualización de configuración pantalla Delta con dirección IP por defecto es 192.168.0.3.

Ahora, se presentan las capturas de pantalla del proceso de configuración de la interfaz HMI DELTA mediante DOPSoft 2.0, centradas en la parametrización de comunicación con el PLC. Se detalla la selección del controlador adecuado y el protocolo de comunicación necesario para establecer una conexión estable y eficiente entre la HMI y el sistema de control

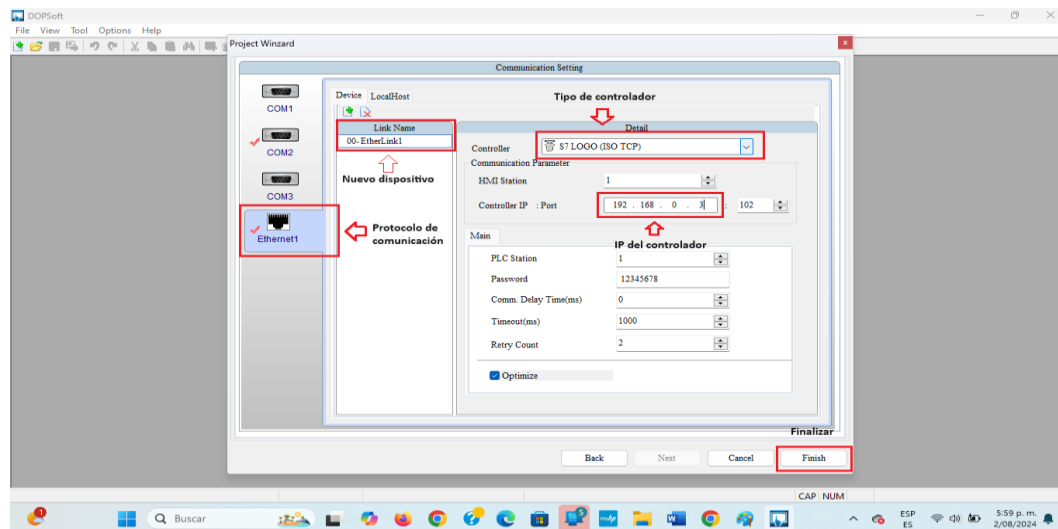
automatizado. Esta configuración es clave para el correcto intercambio de datos y la asignación de tiempos que permiten obtener resultados de color en el azúcar.

## Figura 51

### *Selección de Modelo de Pantalla*



*Nota.* Selección del controlador y protocolo de comunicación para una conexión estable usando el software DOPSoft 2.0.

**Figura 52***Configuración del Puerto de Comunicación y Controlador*

*Nota.* Configuración de pantalla Delta usando el software DOPSoft 2.0.

La programación del controlador de los lavados fue realizada en el entorno LOGO Soft Comfort V8.3, donde se diseñó la lógica secuencial necesaria para ejecutar automáticamente cada una de las etapas del proceso de lavado en la centrífuga. Se utilizó una combinación de temporizadores, contactos y bloques de control para activar en orden el lavado de malla, las purgas y lavados sucesivos, hasta finalizar con el secante.

Cada etapa se ejecuta bajo condiciones definidas previamente para asegurar una operación confiable. En las imágenes siguientes se presenta el desarrollo de esta lógica, implementada paso a paso en el software. Esto permite visualizar cómo se estructuró el programa que controla el proceso completo.

### ***Programación de Lavado, Separación de Miel y Secado***

Todos los temporizadores encargados del lavado, separación de miel y secado, fueron implementados en la pantalla DELTA, por tal motivo dentro de la programación se usaron entradas y salidas de red analógicas para la asignación de tiempos a las variables desde pantalla. En las siguientes imágenes se puede apreciar la programación en bloques de lo anterior

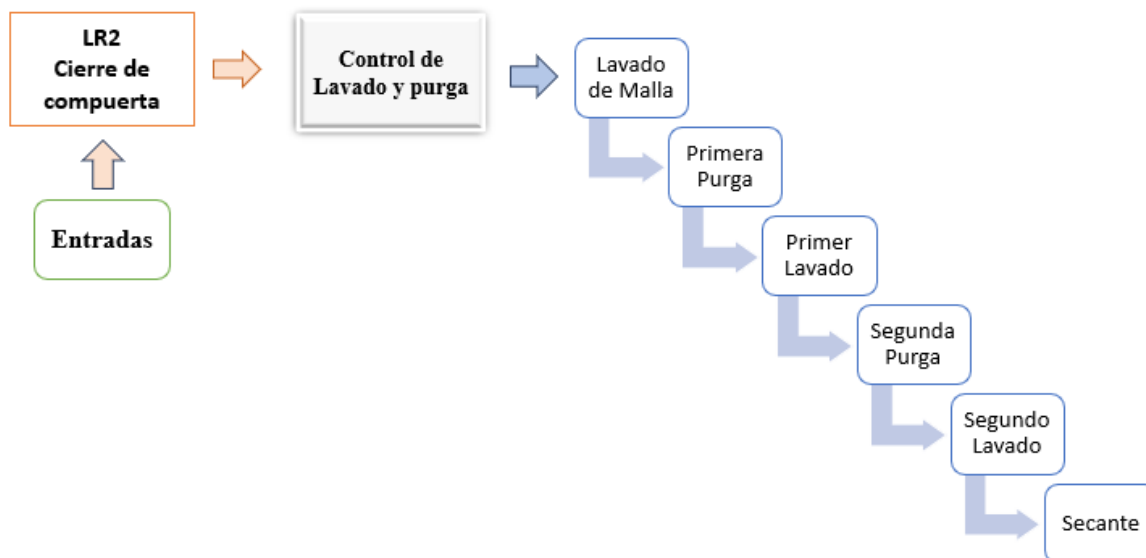
En la anterior imagen podemos ver cuatro recuadros de colores que corresponde a las salidas y entradas del PLC, miremos en detalle cada una de ellas.

En la parte superior derecha tenemos el recuadro de color verde, este bloque corresponde a la entrada analógica de red, (VW2) al tiempo que se asigna a los contactos auxiliares de la primera salida (Q1) del PLC, esta salida Q1 corresponde al lavado de malla que se hace siempre se debe hacer después de cada ciclo.

A continuación, se presenta el diagrama de bloques funcional correspondiente al proceso de lavado y purga en la centrífuga, el cual forma parte del sistema de control del ciclo de descarga de azúcar. En este esquema se representan las señales de entrada, como el cierre de compuerta (LR2), que condicionan el inicio de la secuencia automática.

**Figura 53**

*Diagrama de Bloques Controlador Lavados*

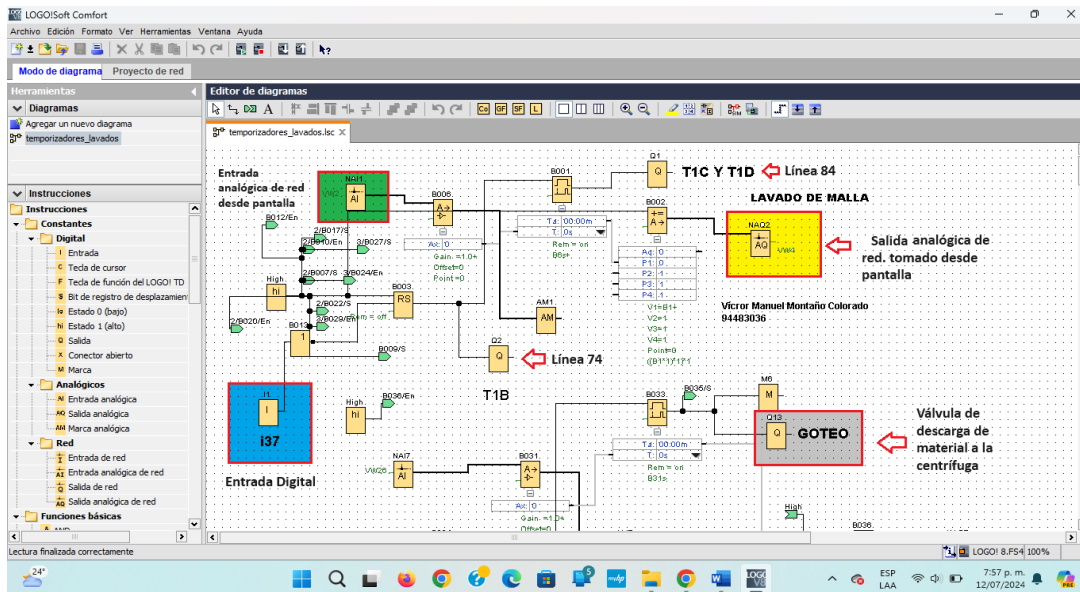


*Nota.* Esquema de visualización de proceso de lavado y purga de la centrífuga.

A continuación, se presenta el desarrollo de la programación del controlador de lavado implementado en LOGO Soft Comfort. Una vez activado el sistema de lavado y purga, se ejecuta una secuencia lógica ordenada que incluye varias etapas: lavado de malla, primera purga, primer lavado, segunda purga, segundo lavado y activación de la secante. Cada fase es gestionada automáticamente por el PLC para garantizar un proceso continuo y eficiente. Estas figuras permiten comprender cómo se estructuró la lógica de control. El objetivo es asegurar que el azúcar cumpla con el valor de color requerido.

**Figura 54**

*Programación Temporizadores Cargados*



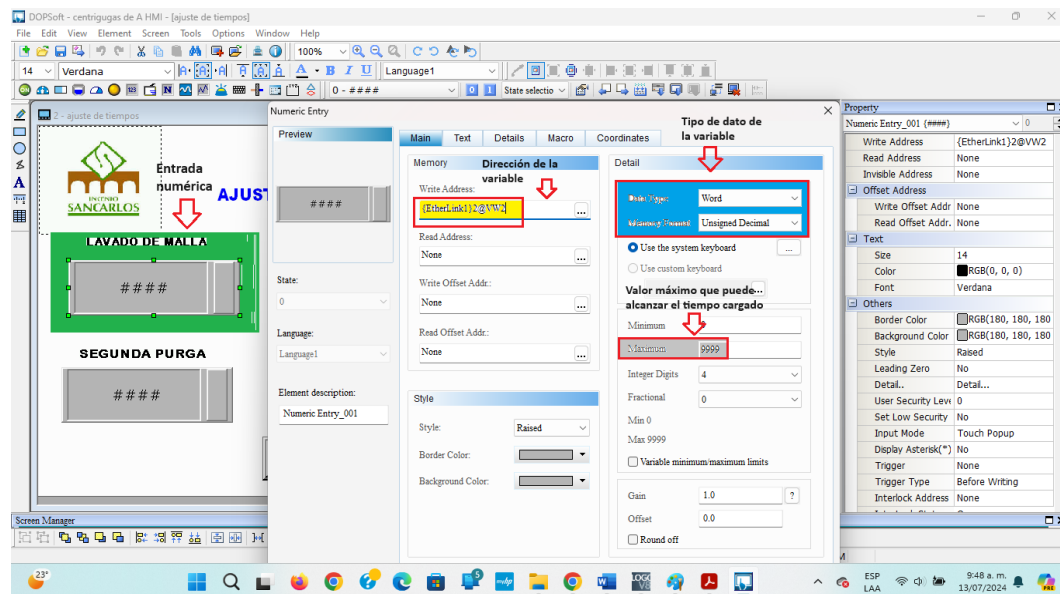
*Nota.* Programación del lavado en LOGO Soft Comfort, con secuencia automática para asegurar la calidad del azúcar.

Por otra parte, el recuadro azul representa la entrada digital I1 (Línea 37 del plano original), la cual activa el proceso de lavado según la lógica de control establecida en el PLC. En la parte superior derecha, el recuadro amarillo identifica el bloque correspondiente a la salida analógica de red VW4, utilizada para visualizar una barra de progreso. Esta barra se actualiza en tiempo real conforme avanza el tiempo programado, brindando al usuario una referencia visual del estado del proceso.

Finalmente encontramos el recuadro de color gris, que es la encargada de mover la electroválvula que permite el ingreso de material a la centrífuga.

**Figura 55**

*Configuración de Entrada de Tiempo, Variable y Rango*

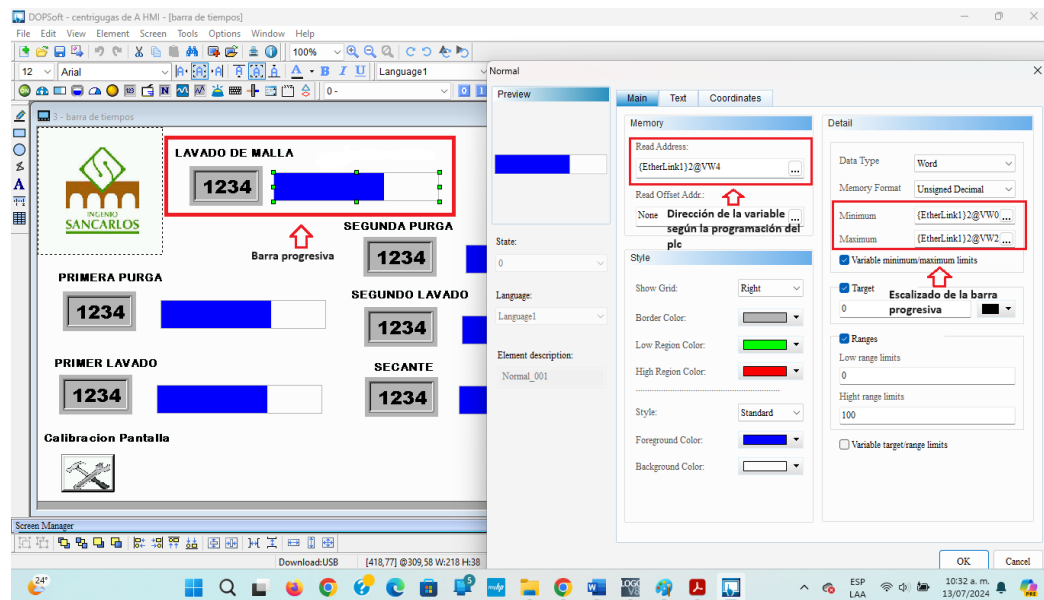


*Nota.* Visualización de configuración pantalla Delta de entradas, salidas, barra de progreso visible para el usuario y la salida que activa la electroválvula.

En la anterior figura se puede observar de color verde la entrada por pantalla del tiempo que será asignado para el lavado de malla. Si observa, en recuadro de color amarillo, allí está la dirección de donde fue tomada que, esta corresponde a la entrada análoga de red del PLC (VW2).

En el recuadro de color azul, se elige el tipo de variable, que en este caso es una palabra (Word), finaliza con el recuadro de color gris que representa el rango máximo posible de alcanzar ingresado por pantalla.

Figura 56

*Barra Progresiva, Lectura Auto Rango*

*Nota.* Visualización de configuración pantalla Delta usando el software DOPSoft 2.0.

*Primera purga (separación de miel)*

Esta parte de la programación se encarga de ejecutar la primera purga lavado (separación de miel), esto con la finalidad de eliminar cualquier resto de material del interior de la centrífuga y esto ocasiona un desbalance en la canasta.

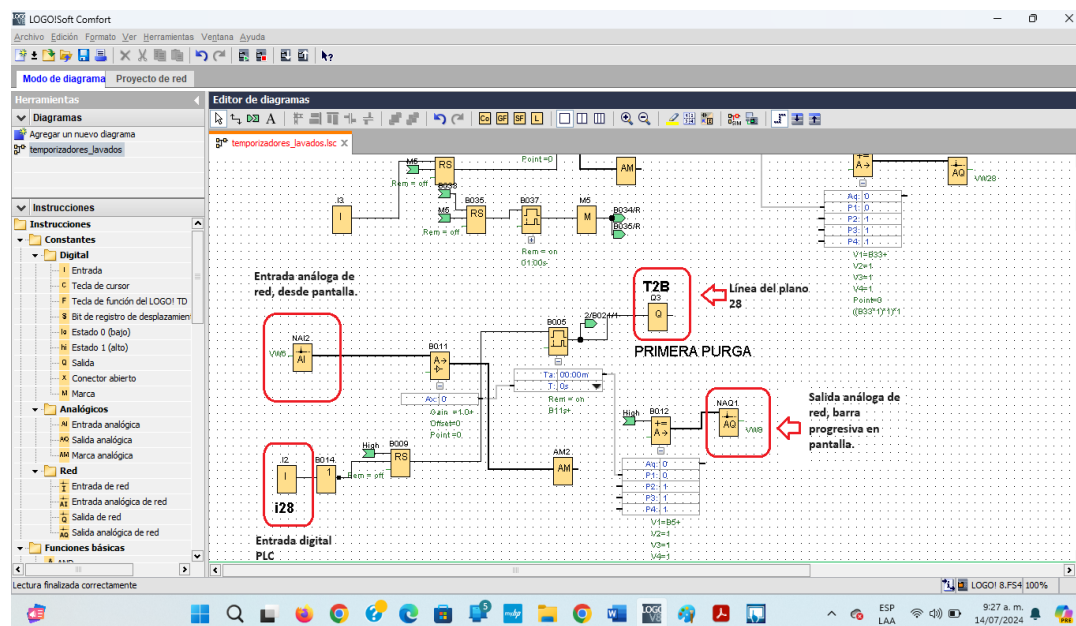
Como señal de entrada digital al PLC se utilizó la línea I28 del plano eléctrico. Al energizarse esta entrada, se inicia la temporización, activando un contador previamente configurado por el usuario desde la interfaz HMI. Una vez que el conteo ha comenzado, se habilita la salida digital Q3, la cual permite la activación del siguiente ciclo de lavado. Finalmente, mediante una salida analógica de red, se representa en la pantalla una barra de

progreso, brindando al usuario una visualización en tiempo real del avance del tiempo programado, lo que mejora la interacción y supervisión del lavado.

Esta figura muestra la lógica en LOGO Soft Comfort para la primera purga. Esta se activa con la entrada digital I28 y la línea T2B, ejecutando el conteo configurado desde pantalla. La salida AQ permite visualizar el avance mediante una barra progresiva.

**Figura 57**

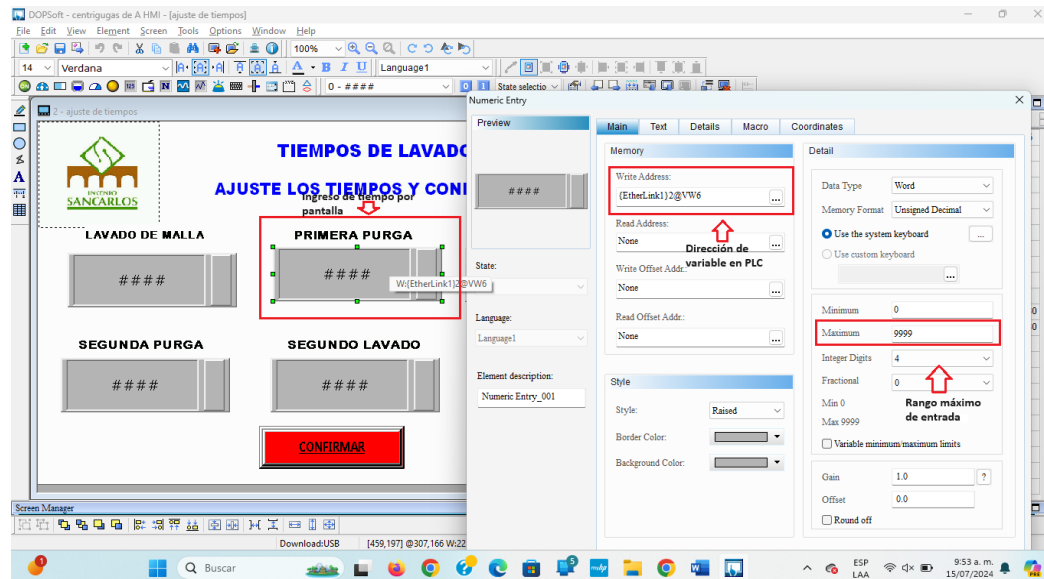
### *Programación de la Primera Purga*



*Nota.* Diseño en LOGO Soft Comfort para la primera purga, con activación, conteo y barra de progreso visible.

**Figura 58**

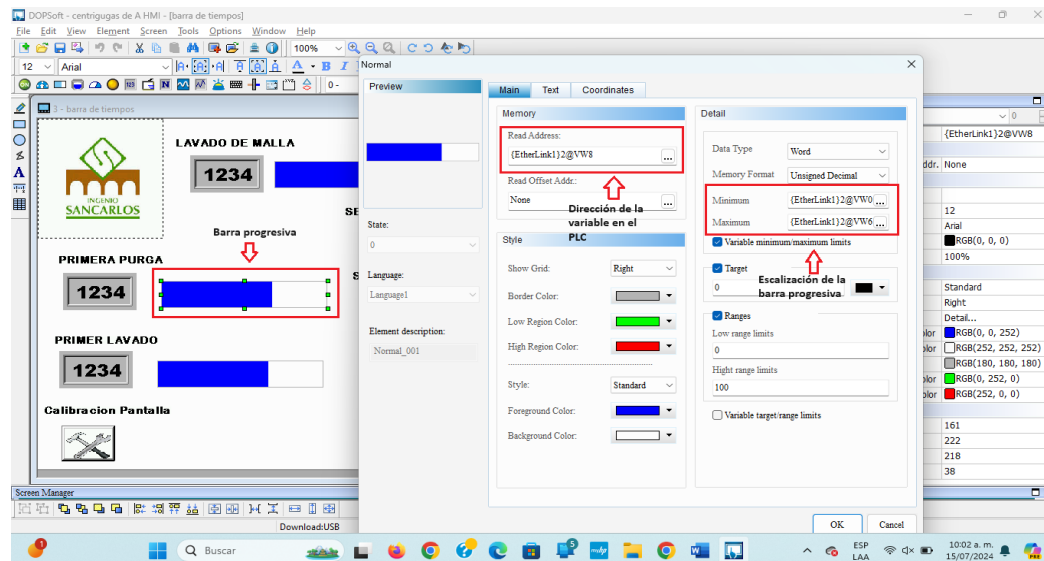
*Diseño de Interfaz para la Primera Purga*



*Nota.* Diseño y configuración de interfaz en el aplicativo DOPSoft 2.0.

**Figura 59**

*Interfaz Primera Purga*



*Nota.* Pantalla de interfaz que muestra el control y monitoreo de la primera purga.

### **Primer lavado**

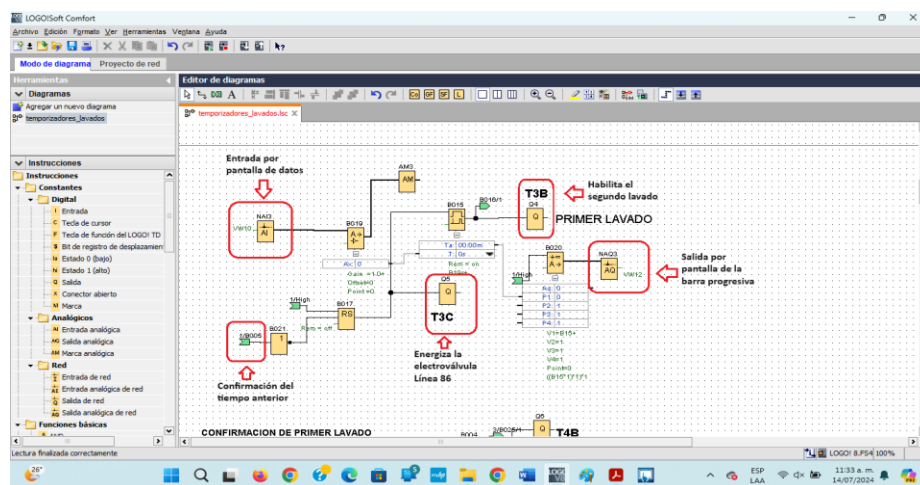
Esta parte de la programación corresponde al primer lavado de la centrifuga, en este punto se hace la separación de mieles del cristal de azúcar, el tiempo que dura estará en función del valor ingresado por pantalla, esta es una variable análoga de red.

Como habilitador se tienen dos casos, en la parte inferior derecha, el inicio del ciclo, tal ejecución estará en función del tiempo anterior, la salida Q4 es la encargada de habilitar el segundo lavado, finalizando el primer lavado con la visualización de la barra progresiva que corresponde al tiempo cargado por el usuario.

En las siguientes tres figuras se presenta con detalle la programación de bloques finalizada correspondiente a la función del primer ciclo de lavado. Se puede observar cómo se programó la lógica del proceso y los elementos relevantes para su correcta operación, especialmente la visualización del tiempo transcurrido a través de una barra progresiva.

### **Figura 60**

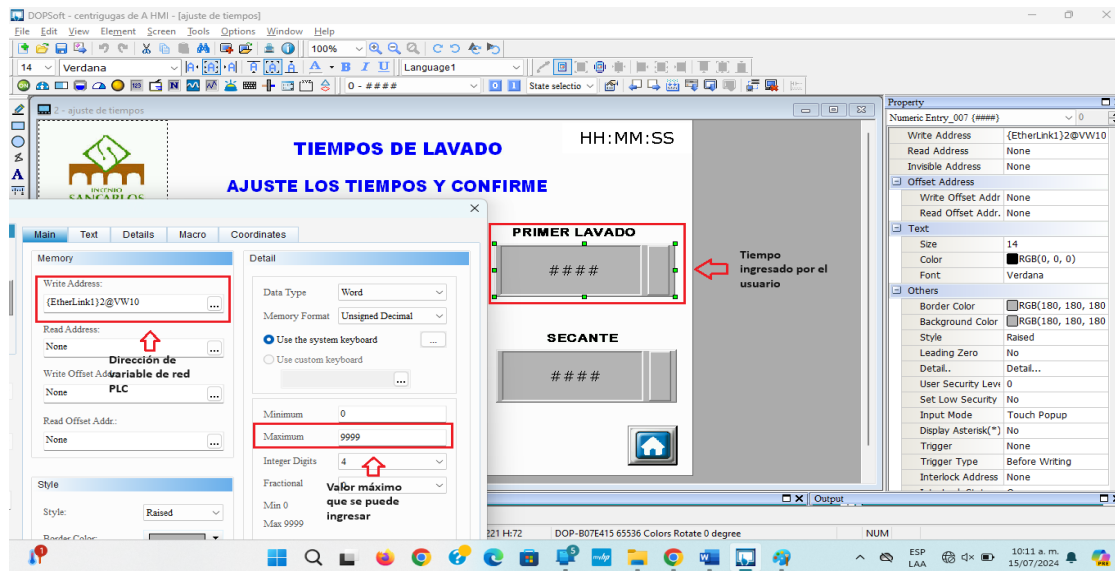
#### *Programación del Primer Lavado*



*Nota.* Programación detallada del primer ciclo de lavado, incluyendo la lógica en el software LOGO.

Figura 61

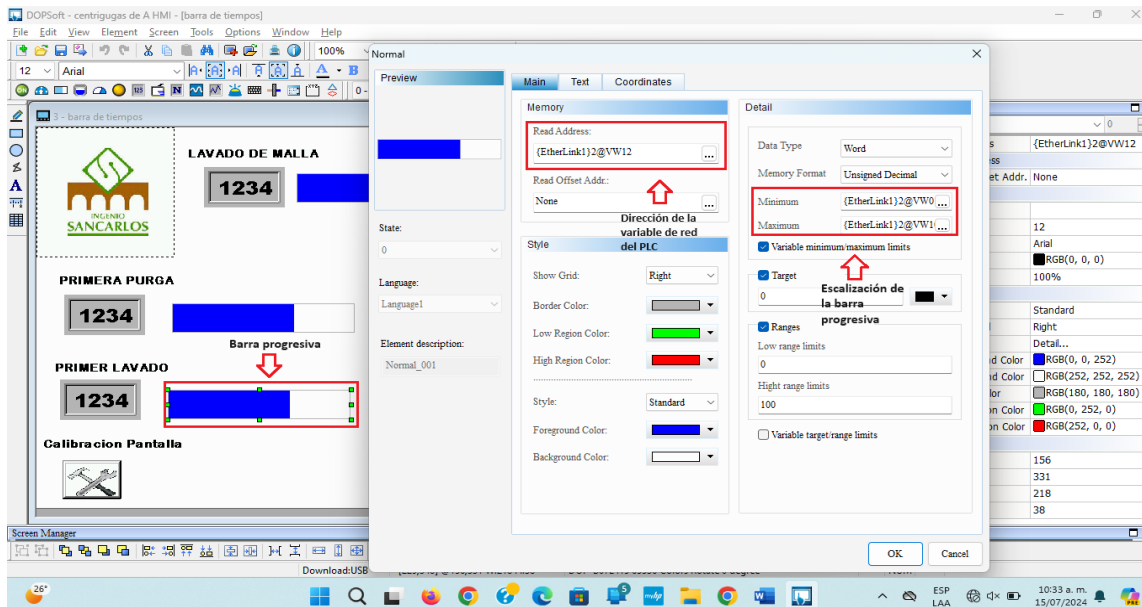
*Diseño de la Interfaz Primer Lavado*



Nota. Diseño y configuración de la interfaz para el primer lavado.

Figura 62

*Interfaz Primer Lavado*



Nota. Configuración de interfaz de pantalla Delta.

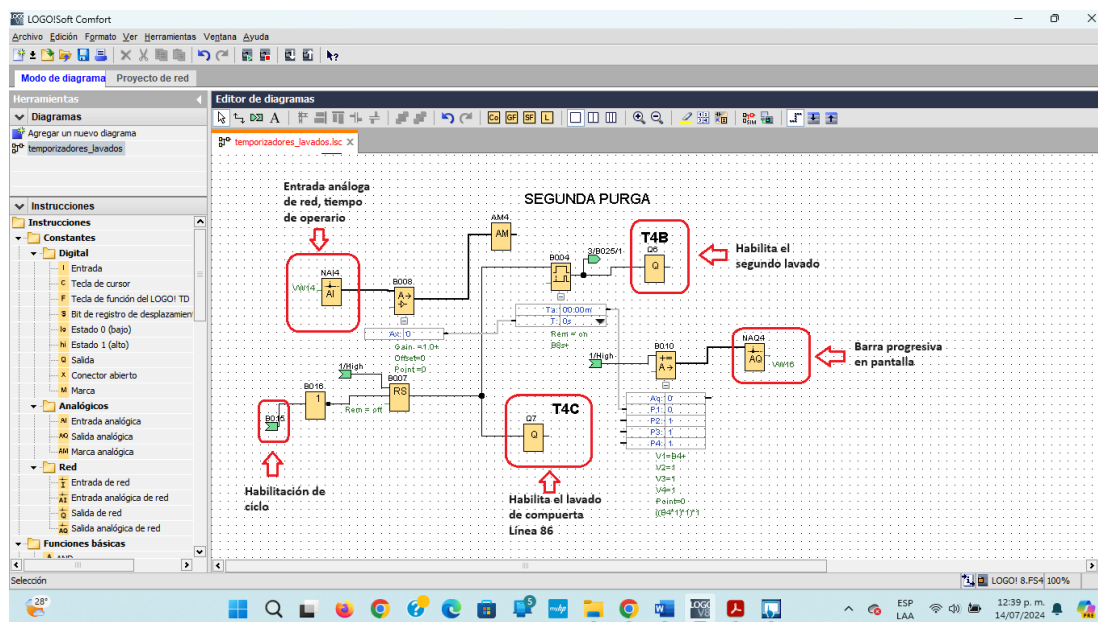
## Segunda purga

En este punto se retira parte de la miel adherida al cristal, el tiempo que dura será el ingresado por pantalla.

Como contactos habilitadores tenemos dos (Q6 y Q7) salidas del PLC, en la parte inferior derecha, está el inicio del ciclo, tal ejecución estará en función del tiempo anterior, la salida Q4, es la encargada de habilitar el segundo lavado, finalizando el segundo lavado con la visualización de la barra progresiva que corresponde al tiempo cargado por el usuario.

**Figura 63**

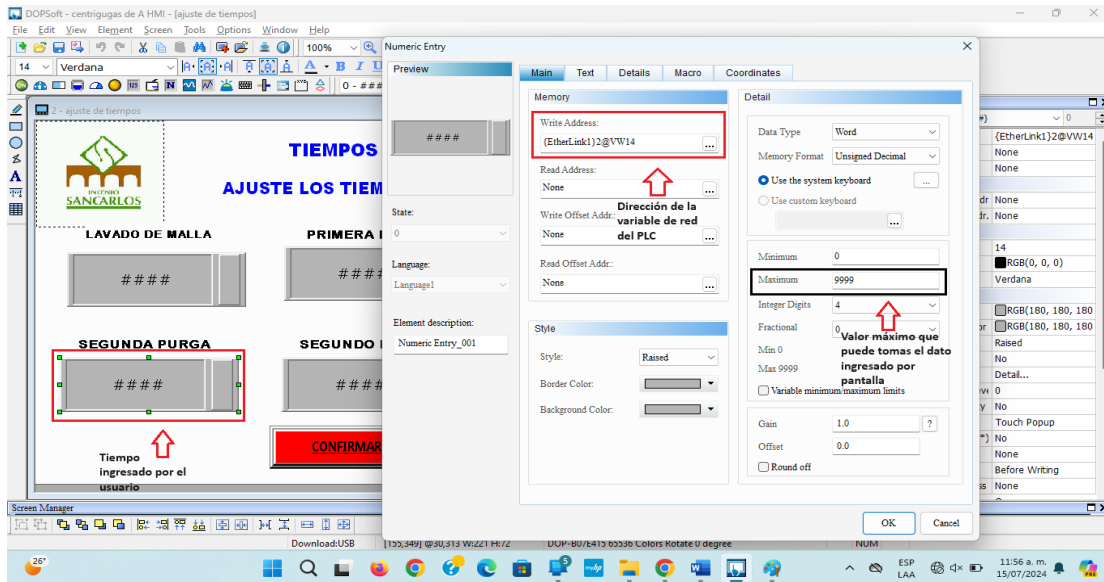
### Programación de la Segunda Purga



*Nota.* Contactos habilitadores y control del segundo lavado usando el aplicativo LOGO.

Figura 64

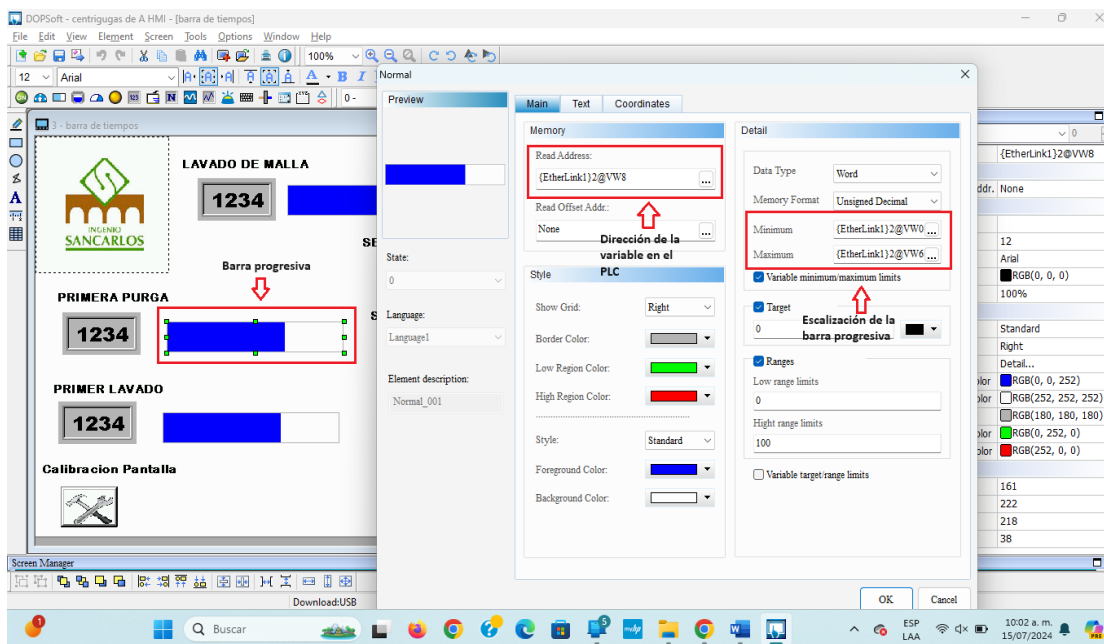
Diseño de Interfaz, Segunda Purga



Nota. Visualización de configuración de diseño de interfaz en software DOPSoft 2.0.

Figura 65

Interfaz Segunda Purga



Nota. Pantalla de diseño de interfaz en software DOPSoft 2.0.

### *Segundo lavado*

Para esta parte del proceso, se realiza un segundo lavado con el propósito de eliminar cualquier residuo de meladura que pueda haber quedado del primer lavado.

Considerando que según el tipo de azúcar que se esté sacando, existirá la posibilidad de elegir si se hace el segundo lavado o no, esta alternativa se implementó con un botón (M3 Marca en el PLC) de habitación del primer y segundo lavados en la pantalla DELTA.

La siguiente pantalla principal se destinó a la operación del segundo lavado de la centrífuga, estableciendo una interfaz básica de interacción entre el sistema y el operario. A continuación, se presentan las demás imágenes, en las cuales se evidencia cómo fue programada la interfaz HMI, tanto en lo referente del diseño del entorno gráfico. Estas figuras permiten comprender la lógica visual implementada y la disposición funcional de los elementos en pantalla, orientados a facilitar la operatividad, la supervisión y el control del proceso por parte del usuario.

**Figura 66**

*Botones para Elegir los Lavados*



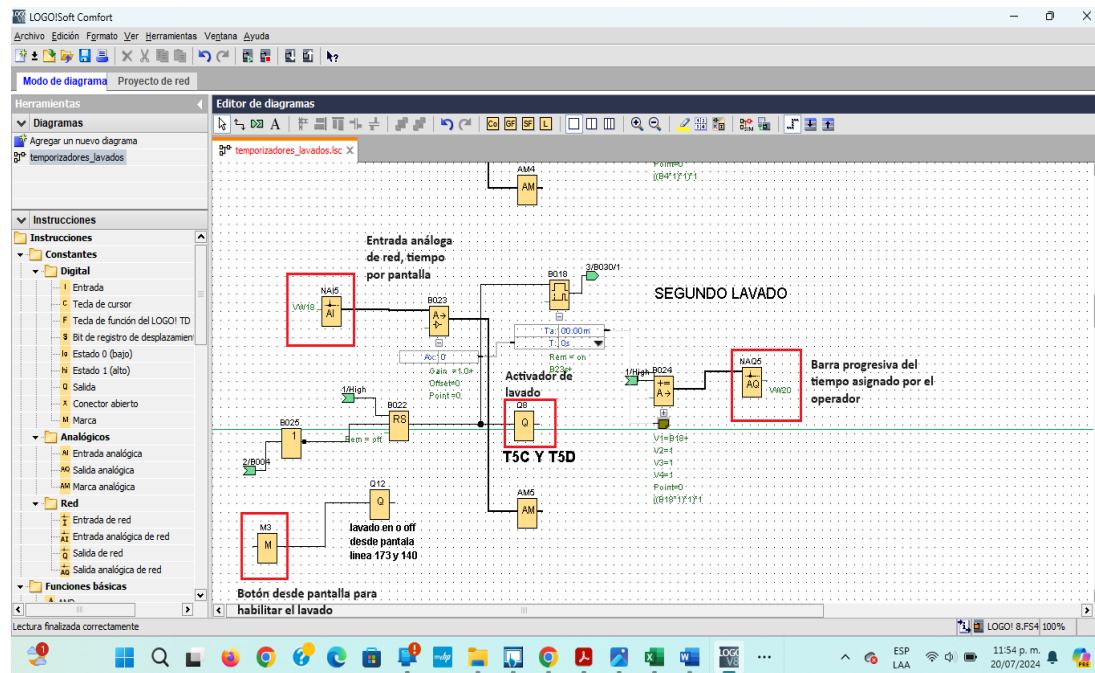
*Nota.* Pantalla principal del segundo lavado en la centrífuga, mostrando el diseño de la interfaz HMI para facilitar la operación y supervisión.

Una vez se cumplan las condiciones para el segundo lavado, el PLC con su salida digital número ocho permite que la válvula de lavado se energice y permita el paso del agua por las boquillas del lavado, estos contactos originalmente están en el plano como T5C y T5D.

Por pantalla se asignará el valor del tiempo que durará este lavado y para que el operario visualice el progreso del tiempo se dispone de una barra progresiva que representa el tiempo transcurrido, en las siguientes figuras se muestra la programación del PLC y los lienzos en la pantalla DELTA.

Figura 67

Programación PLC del Segundo Lavado

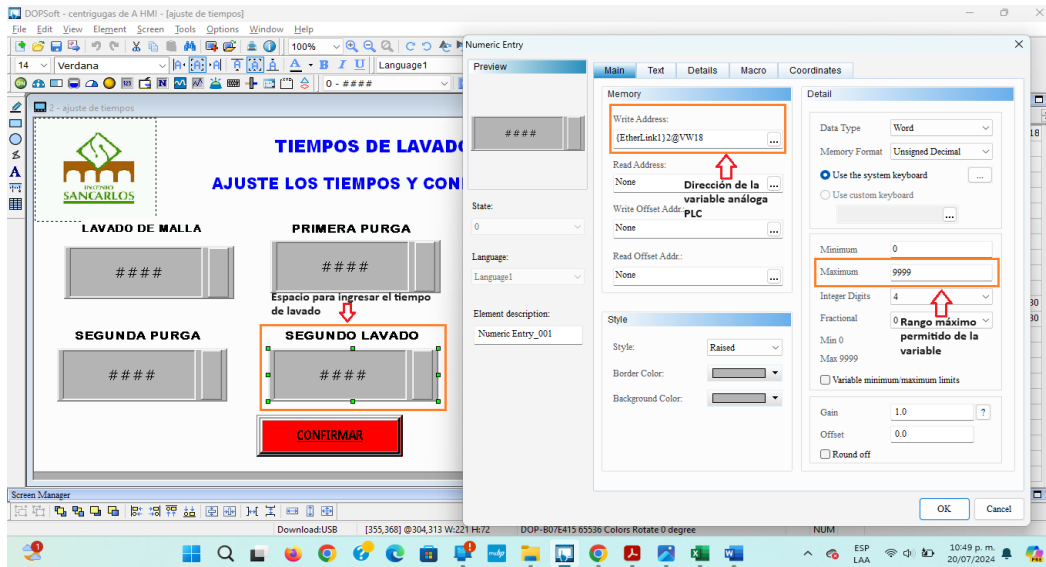


Nota.

Activación de la válvula de lavado y control del tiempo, con programación en PLC y pantalla DELTA en LOGO.

Figura 68

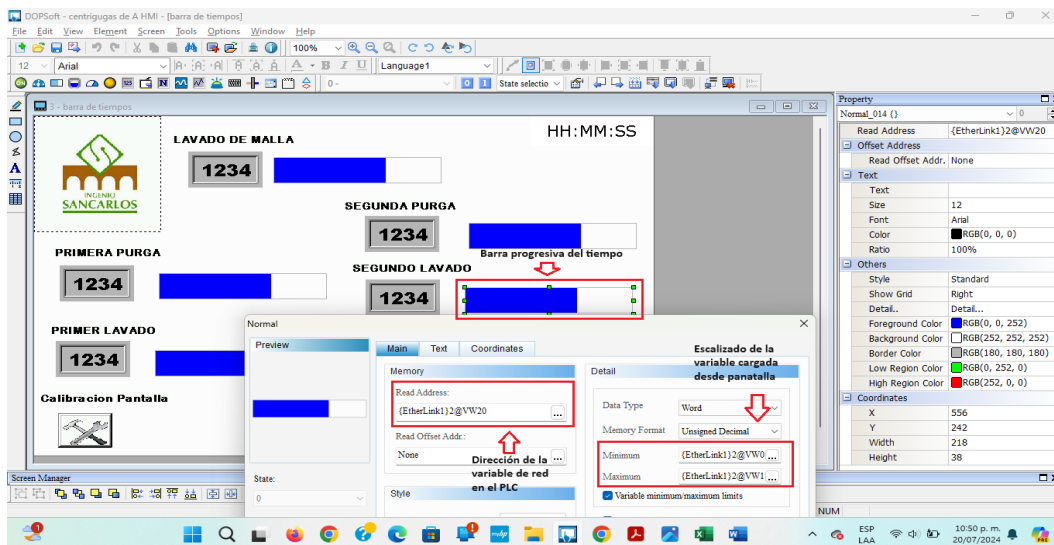
## Visualización de Interfaz Segundo Lavado



Nota. Configuración de interfaz en pantalla Delta.

Figura 69

## Diseño de Barra Progresiva



Nota. Visualización y configuración de barra progresiva que representa el tiempo transcurrido.

Secante.

En este punto finaliza todo el ciclo de lavados y separación de mieles (Purgas)

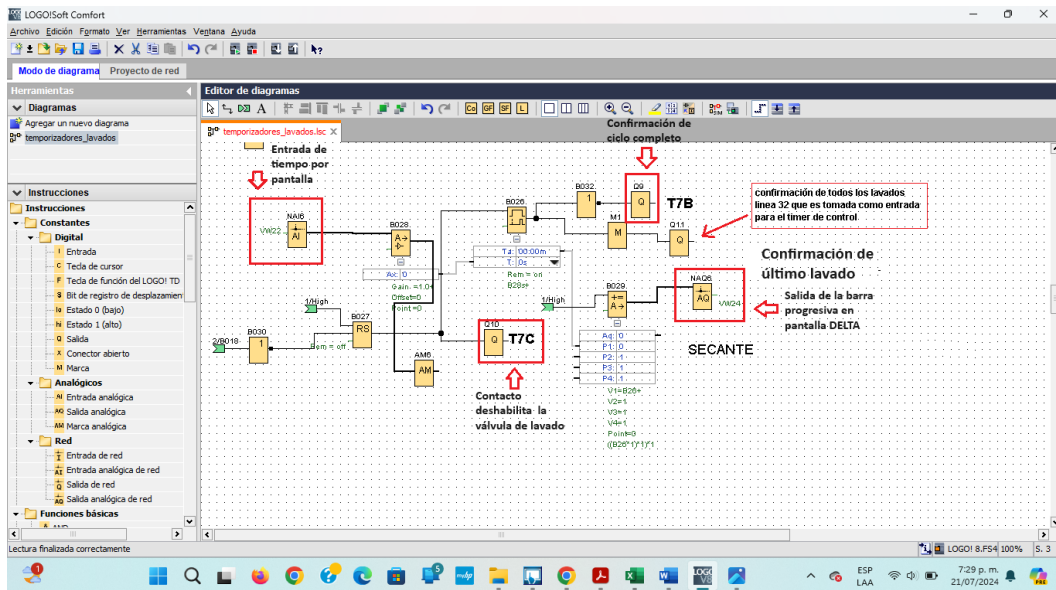
Para este caso en especial, se dispuso de tres salidas digitales del PLC (Q9, Q10 y Q11) ya que con una de ella (Q11) se confirma al controlador de transferencias que se ha culminado el último ciclo confirmando condiciones para iniciar el ciclo de transferencias.

Por otra parte, este último paso que se llama secado hace referencia al tiempo que esta la centrífuga en alta velocidad (1200 rpm) para eliminar todo resto de agua que haya quedado de los lavados anteriores permitiendo que la azúcar salga más seca, los tiempos de secado son ingresados por pantalla según el criterio del operario, también se puede visualizar el avance del tiempo en una barra progresiva, esto pensado para que la interacción con el operario sea más intuitiva.

A continuación, se presentan las figuras correspondientes a la programación diseñada para ejecutar la última etapa del ciclo de operación de la centrífuga, la cual incluye el proceso de secado y la confirmación de condiciones necesarias para dar inicio al ciclo de transferencias. Esta lógica fue desarrollada con el objetivo de garantizar una operación eficiente y una interacción intuitiva con el operario a través de la interfaz HMI.

Figura 70

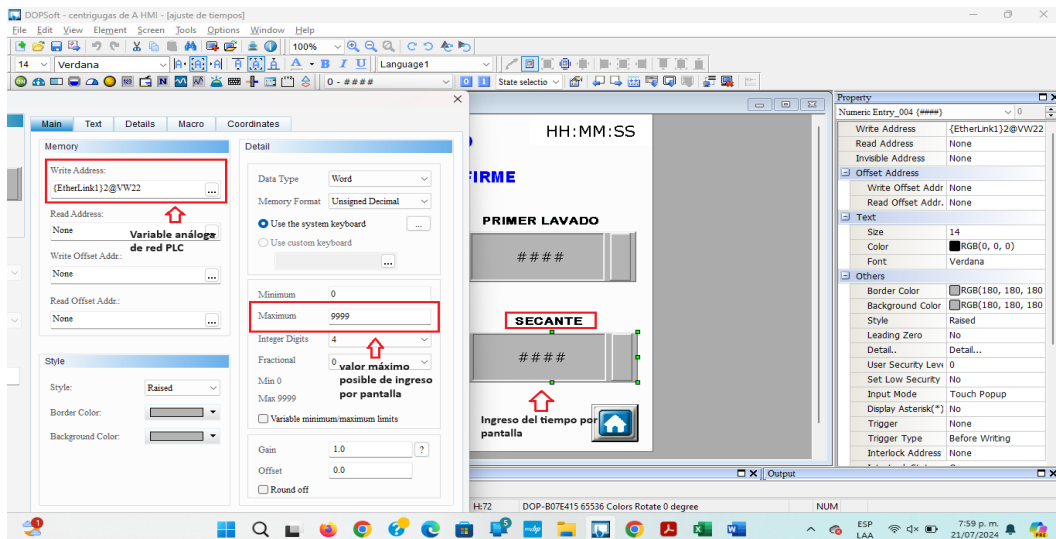
Programación Secado PLC



Nota. Programación y diseño de ejecución etapa de ciclo en la centrífuga a través de interfaz HMI en LOGO.

Figura 71

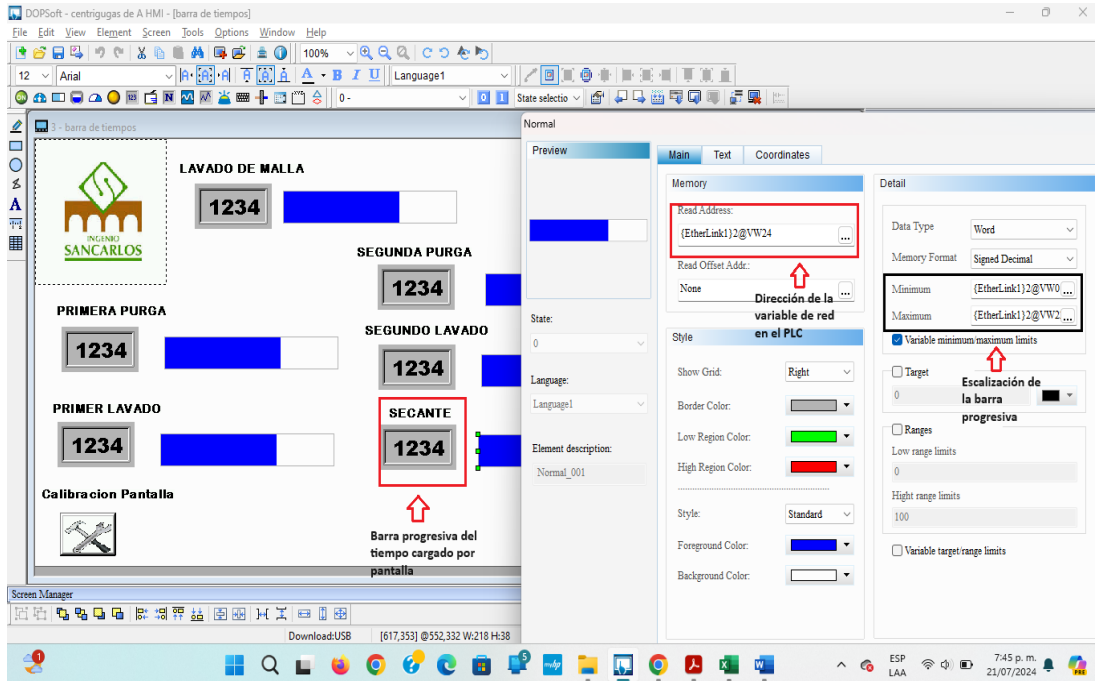
Interfaz para el Secado



Nota. Configuración de interfaz en pantalla Delta para el proceso de secado de la centrífuga.

**Figura 72**

### *Diseño de Barra Progresiva*



*Nota.* Diseño de la interfaz HMI para la etapa de secado, mostrando la barra progresiva que indica el avance del tiempo y facilita la interacción con el operario.

## **Operar**

En esta fase, se validó el correcto funcionamiento del nuevo sistema de control en condiciones reales de producción, se capacitó al personal en el uso de la HMI y en procedimientos de mantenimiento, y se establecieron formatos y listas de chequeo para llevar un seguimiento permanente del desempeño de la centrífuga. Los primeros resultados reflejan una notable disminución en las paradas no programadas y un mayor orden en las intervenciones de mantenimiento, confirmando los beneficios de la modernización tecnológica.

### **Puesta en marcha y validación en campo**

#### ***Checklists eléctricos***

Se revisaron las acometidas de alimentación, protecciones (breakers, fusibles) y el cableado Ethernet entre el PLC LOGO y la HMI DELTA.

#### ***Pruebas de comunicación***

Se confirmaron las direcciones IP de los dispositivos, verificando respuestas de red (ping) y la correcta detección de nodos en el software de programación.

#### ***Pruebas en vacío***

Antes de cargar la centrífuga con masa A real, se ejecutaron ciclos de lavado y purga en vacío para medir el comportamiento de contactores, relés, electroválvulas y temporizadores virtuales.

#### **Inicialización de secuencias**

Se habilitó el modo automático para que el PLC ejecutara las etapas de lavado, purga, secado y descarga, midiendo tiempos de ciclo y comparándolos con los parámetros originales.

## **Capacitación del personal operativo y de mantenimiento**

- El personal operativo recibió formación teórico-práctica acerca de las nuevas pantallas HMI, la lógica interna del PLC y la interpretación de alarmas.
- Se brindaron indicaciones al operario de cómo realizar un reinicio seguro en caso de un fallo puntual como por ejemplo un cambio de un fusible o el reinicio de la HMI.
- Se capacitaron técnicos y operarios para identificar y corregir inconvenientes simples (cables flojos, ajustes de temporizadores) sin requerir asistencia externa inmediata.

## **Implementación del Plan de Mantenimiento**

### ***Mantenimiento Preventivo***

Inspecciones diarias y semanales

Se revisan conexiones eléctricas, integridad de cables y estado del panel de control.

Inspecciones mensuales:

Calibración de sensores, limpieza interna de tableros y revisión de ventiladores/filtros.

Inspecciones trimestrales

Conexiones de red Ethernet, actualización de firmware del PLC o la HMI. Verificación de protocolos de comunicación y logos de alarmas.

### ***Mantenimiento Correctivo***

Procedimiento de emergencia

Se designa un responsable de turno para diagnosticar fallas repentinas, documentarlas y definir las acciones de corrección (cambio de relés, fusibles, ajustes de parámetros).

Registro intervención correctiva

Recoge fecha, descripción del problema, causa probable, piezas reemplazadas y validación post-reparación.

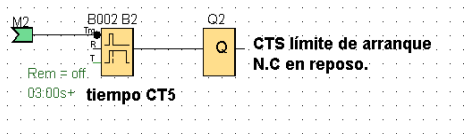
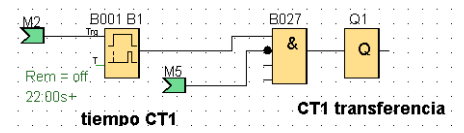
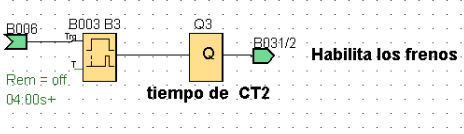
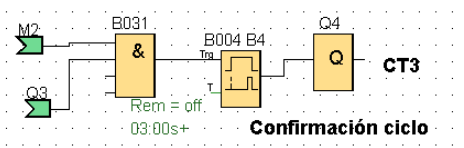
#### Instructivo para personal técnico

Es importante comprender que la migración de estos controladores contribuye a mejorar la estabilidad eléctrica del sistema de control de la centrífuga. Sin embargo, también es fundamental considerar que el personal operativo en turno debe estar capacitado para abordar y resolver los posibles inconvenientes que puedan surgir durante la operación.

Por este motivo, se ha elaborado este instructivo dirigido al personal técnico, especialmente a los electricistas, con el objetivo de presentar de manera clara y detallada la equivalencia entre el sistema anterior y el actual en términos de funcionamiento y conexionado.

El instructivo se estructura en tres columnas. En la primera fila de cada columna se presenta: el nombre del controlador o función correspondiente, su denominación según los planos originales y una descripción detallada de su funcionamiento, haciendo énfasis en la salida del PLC y su ubicación específica en el plano original.

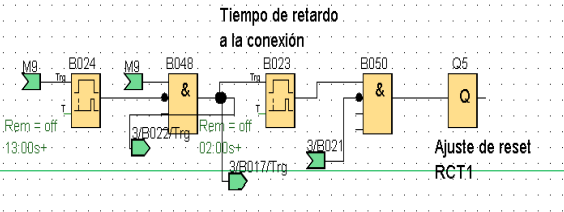
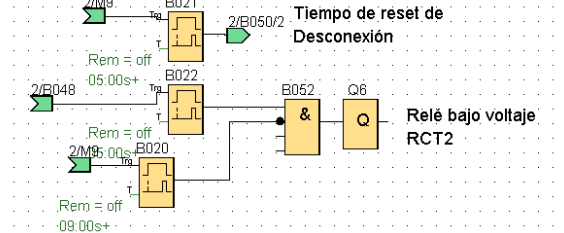
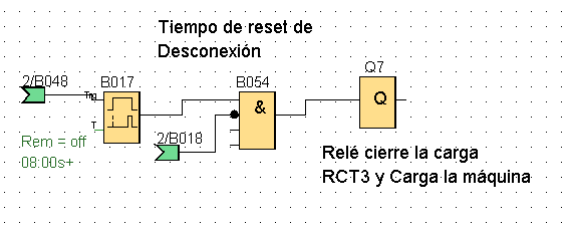
**Tabla 3***Instructivo Controlador de Transferencia*

| Elemento original | Controlador de Transferencia  | Descripción  |
|-------------------|---|--|
| CTS               |    | <p>Ajuste el tiempo para el contacto CTS, el bloque de temporizado es el B002.B2</p> <p>Este contacto (CTS) corresponde a la salida Q0.2 del PLC.</p>  |
| CT1               |    | <p>Ajuste el tiempo que corresponde a la transferencia de velocidad, se deje asignar el tiempo al bloque B001B1, esta asignación de tiempo corresponde a la salida Q0.1 del PLC.</p>                 |
| CT2               |  | <p>Ajuste el tiempo de accionamiento de las bandas de frenado según sea el desgaste, este bloque de tiempo es B00B3 y que corresponde a la salida Q0.3 del PLC</p>                                   |
| CT3               |  | <p>Ajuste el tiempo necesario para habilitar el siguiente paso o ciclo una vez termine el ciclo del controlador de transferencia del bloque B004B4.</p> <p>Corresponde a la salida Q0.4 del PLC.</p> |

*Nota.* Guía para la configuración de tiempos en el controlador de transferencia, especificando las funciones, bloques temporizadores y salidas del PLC correspondientes.

Tabla 4

## Instructivo Controlador de Reciclo

| Elemento Original | Controlador de Reciclo  | Descripción  |
|-------------------|---|--|
| RCT1              |  <p>Tiempo de retardo a la conexión</p>  | <p>Ajuste el valor del retardo una vez se cumpla las condiciones para el inicio del controlador de reciclo, bloque B023.</p> <p>La salida correspondiente es la Q0.5 del PLC.</p>  |
| RCT2              |  <p>Tiempo de reset de Desconexión</p>  | <p>Ajuste el valor del retardo que proporciona el Reset general del control, tenga presente que tiene un tiempo de ON y otro para el OFF, El tiempo de ON B021 y para el tiempo de OFF B022</p> <p>Corresponde a la salida Q0.6 del PLC.</p> |
| RCT3              |  <p>Tiempo de reset de Desconexión</p> | <p>Ajuste el valor del retardo para que exista el sincronismo con el switch de velocidad cero (ZSSW2), bloque B054.</p> <p>La salida correspondiente es la Q0.7 del PLC</p>  |

*Nota.* Instructivo para ajustar los retardos y sincronismos del controlador de reciclo.

Tabla 5

## Instructivo Controlador de Descarga

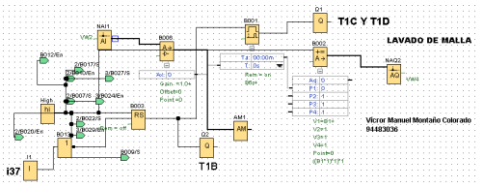
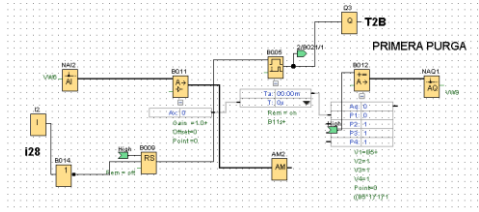
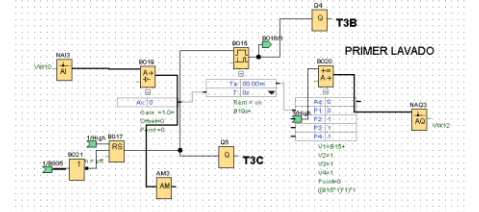
| Elemento Original | Controlador de Descarga | Descripción  |
|-------------------|-------------------------|--|
| DT2               |                         | <p>Ajuste el valor del retardo una vez se cumpla las condiciones para el inicio del controlador de descarga bloque B043.</p>   |
| DT3               |                         | <p>La salida correspondiente a esta función es Q1.9 del PLC</p> <p>Ajuste el valor del retardo correspondiente al bloque B013, el cual define el tiempo necesario para activar la salida Q1.10, asociada al accionamiento del arado de la máquina.</p> |
| DT4               |                         | <p>Ajuste el valor del retardo correspondiente al bloque B010, el cual define el tiempo necesario para activar la salida Q1.11, asociada al actuador de descarga de azúcar</p>   |
| DT5               |                         | <p>Ajuste el valor del retardo correspondiente al bloque B007, el cual define el tiempo necesario para activar la salida Q1.12, que le confirma el fin de ciclo al controlador de reciclo para iniciar un nuevo ciclo de purga.</p>                    |

*Nota.* Instrucciones para configurar los retardos del controlador de descarga, detallando los

bloques temporizadores y las salidas del PLC vinculadas a cada función.

**Tabla 6**

*Instructivo Lavado de Malla*

| Elemento Original    | Lavado de Malla   | Descripción   |
|----------------------|---|---|
| T1B, T1C, T1C        |    | <p>Ajuste el tiempo de lavado de la malla de la centrifuga. Durante este proceso, se activarán las salidas de relé Q0.1 y Q0.2 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en las siguientes líneas (75, 84).</p>                      |
| <b>Primera Purga</b> |   |   |
| T2A, T2B             |   | <p>Ajuste el tiempo de lavado de la primera purga o separación de mieles de la centrifuga. Durante este proceso, se activarán las salidas por el relé Q0.3 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en la siguiente línea (28).</p> |
| <b>Primer Lavado</b> |   |   |
| T3B                  |  | <p>Ajuste el tiempo del primer lavado de la centrifuga. Durante este proceso, se activarán las salidas por el relé Q0.4 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en la siguiente línea (30, 86).</p>                                |
| <b>Segunda Purga</b> |   |   |

| Elemento Original     | Lavado de Malla | Descripción   |
|-----------------------|-----------------|---|
| T4B, T4C              |                 | <p>Ajuste el tiempo de la segunda purga de la centrífuga. Durante este proceso, se activarán las salidas por el relé Q0.6, Q0.7 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en la siguiente línea (34, 37, 86).</p>                          |
| <b>Segundo Lavado</b> |                 |   |
| T5C, T5D              |                 | <p>Ajuste el tiempo para el segundo lavado de la centrífuga. Durante este proceso, se activarán las salidas por el relé Q0.8 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en la siguiente línea (41, 87, 88).</p>                             |
| <b>Secante</b>        |                 |   |
| T7B, T7C              |                 | <p>Ajuste el tiempo que durará el tiempo para el secante de la centrífuga. Durante este proceso, se activarán las salidas por el relé Q0.9 Q1.10 y Q1.11 del PLC.</p> <p>En el plano original estos contactos están en la siguiente línea (44, 48, 88).</p> |

*Nota.* Instructivo de ajuste de tiempos en el ciclo de lavado de la centrífuga.

### ***Procedimientos de mantenimiento***

Se propuso un esquema general de procedimientos para el plan de mantenimiento de la centrífuga Roberts con el nuevo sistema de control. Cada procedimiento puede desarrollarse en mayor detalle conforme a los estándares o políticas internas del Ingenio Sancarlos.

#### Procedimiento de Inspección Diaria:

Objetivo: Verificar el estado general de la centrífuga y prevenir fallas inminentes.

#### Contenido:

- Revisión de parámetros en la HMI (alarmas, valores de set points).
- Observación de ruidos anormales, vibraciones o sobrecalentamientos.
- Firma del operario y comentarios de hallazgos (positivos o negativos).

#### Procedimiento de Limpieza Mensual:

Objetivo: Mantener la higiene y operatividad de componentes críticos.

#### Contenido:

- Apagado total del sistema y etiquetado de seguridad (“Equipo en Mantenimiento”).
- Desmontaje de cubiertas, limpieza con aire comprimido y solventes dieléctricos.
- Lista de chequeo para tableros eléctricos, ventiladores y mallas filtrantes.

#### Procedimiento de Intervención Correctiva:

Objetivo: Atender de manera sistemática las averías que surjan durante la operación.

#### Contenido:

- Diagnóstico rápido (inspección visual, consulta de alarmas en la HMI).
- Reparación o cambio de componentes (relés, cables, bobinas, etc.).

- Verificación final con operación en vacío o ciclo de prueba.
- Registro en el “Formato de Intervención Correctiva”, con firmas de técnico y supervisor.

Los formatos utilizados para realizar inspecciones diarias y semanales, así como los registros de mantenimiento correctivo, se incluyen en los anexos de este documento. En el Apéndice A se presenta la lista de chequeo diaria; el Apéndice B contiene la lista semanal, y el Apéndice C expone el formato utilizado para las intervenciones correctivas, facilitando el seguimiento técnico del sistema implementado.

### ***Evidencias de operación***

Enlace al video de operación:

<https://youtu.be/LWfNzgUJ7Ug>

El collage de ilustraciones muestra el antes y después del proceso de migración de los temporizadores en la centrífuga. Ante de la actualización, el sistema dependía de temporizadores electromecánicos que, con el tiempo, habían perdido precisión y confiabilidad, afectando el rendimiento del equipo. Con la implementación de un PLC se logró un control mucho más preciso y flexible mejorando su desempeño.

Estas figuras comparan el estado del sistema antes y después del proceso de migración. A la derecha se observa la configuración original, mientras que la imagen de la izquierda muestra el estado actual, evidenciando las mejoras implementadas.

**Figura 73**

*Antes y Después de la Implementación del PLC*



*Nota.* foto tomada en el ingenio.

Aquí se presenta el estado actual de la centrífuga en operación. En el lado izquierdo se observa el cofre eléctrico, el cual integra la pantalla HMI Delta, donde se implementó el sistema de lavado automatizado de la centrífuga Roberts.

**Figura 74**

*Estado Actual Operativo*



*Nota.* foto tomada en el ingenio.

Antes y después del sistema de temporización. Anteriormente se utilizaban temporizadores electromecánicos; actualmente, estos han sido reemplazados por una interfaz HMI Delta, que permite ajustar los tiempos de operación y visualizar su progreso en tiempo real mediante una barra de avance.

### Figura 75

*Antes y Después, Temporizadores Lavado*



*Nota.* foto tomada en el ingenio.

## Conclusiones

Este trabajo de grado permitió explorar y validar, de manera muy práctica, el impacto positivo que genera la modernización de sistemas de control en entornos industriales. La experiencia adquirida a lo largo del proyecto no solo ofreció respuestas técnicas, sino que también facilitó la comprensión de cómo la innovación en la ingeniería electrónica de control se traduce en mejoras notables en el día a día de la operación y el mantenimiento de equipos industriales

El análisis detallado del controlador electromecánico original de la centrífuga Roberts demostró de forma clara las limitaciones existentes por el uso de tecnologías antiguas. Al identificar que la obsolescencia de estos controladores era la causa principal de las frecuentes fallas eléctricas, se hizo evidente la necesidad de migrar dichos controladores para asegurar una operación continua y segura.

La implementación de un controlador lógico programable (PLC) junto con una pantalla DELTA representó un gran avance en la modernización del sistema. La nueva configuración no solo cumplió con las expectativas técnicas, sino que también transformó la experiencia operativa. La respuesta ágil y precisa del sistema en ciclos, como el lavado, la carga y la descarga redujo de manera significativa las fallas eléctricas, permitiendo que la centrífuga opere con mayor confiabilidad y eficiencia.

Además, la elaboración e implementación de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo, adaptado al nuevo sistema de control, fue esencial para garantizar la continuidad y durabilidad de las mejoras. Dicho plan, desarrollado con una visión tanto técnica como humana, permitió establecer rutinas que minimizan las intervenciones inesperadas. Como resultado, la

disponibilidad de la centrífuga se incrementó, optimizando la producción y reduciendo la carga de trabajo y el estrés del personal operativo.

En resumen, la modernización del sistema de control de centrífuga Roberts ha permitido disminuir casi a la mínima expresión las fallas eléctricas, este trabajo representa no solo un avance técnico para el ingenio Sancarlos, sino también una experiencia personal que fortaleció las competencias en el área de la ingeniería electrónica.

## **Recomendaciones**

A partir del desarrollo e implementación del sistema de control automatizado en la centrífuga Roberts, se proponen las siguientes recomendaciones:

Replicar el proyecto en las demás centrífugas del Ingenio que aún operan con controladores obsoletos, utilizando como base la experiencia técnica y operativa documentada.

Actualizar periódicamente el firmware del PLC y la HMI, asegurando la compatibilidad con nuevas versiones de software y mejorando la ciberseguridad del sistema.

Capacitar de forma continua al personal operativo y técnico, con el fin de garantizar una adecuada interpretación de alarmas, manejo de fallos y optimización del uso del sistema.

Documentar cada intervención técnica realizada en las centrífugas modernizadas, alimentando una base de datos de mantenimiento que permita análisis predictivos a mediano plazo.

Evaluar la eficiencia energética del nuevo sistema de control, comparando los consumos antes y después de la migración, como criterio adicional para justificar la inversión en futuras actualizaciones.

## Referencias

- Avila, J. (2017). Diseño e implementación de sistema de control en torre de enfriamiento y análisis de ahorro energético para la empresa plastinovo S.A.S. Institución Universitaria ITM.  
<https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/95/AvilaColoradoJuanFernando2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Aveva. (s.f.). Software y soluciones de interfaz hombre-máquina (HMI).  
<https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/protocolo-ethernetip-analizando-sus-comunicaciones-y-medidas-seguridad>
- Cenicaña. (2014). Proceso de obtención de azúcar. <https://www.cenicana.org/proceso-de-obtencion-de-azucar/>
- Capterra. (s.f.). Capterra. PLC (controlador lógico programable, por sus siglas en inglés).  
<https://www.capterra.co/glossary/1277/plc-programmable-logic-controller>
- Dickson, F. (2023). ¿Cuál es la evolución y la historia de la automatización?  
<https://www.firgelliauto.com/es/blogs/actuators/what-is-the-evolution-and-history-of-automation>
- Euroinnova. (s.f.). que son los sistemas de control. <https://www.euroinnova.co/blog/que-es-un-sistema-de-control>
- Ingeniería Mecafenix. (2019). Que tipos de temporizador existen y cómo funcionan.  
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/electricidad-industrial/temporizador-tipos-temporizador/>
- Ingenio Sancarlos (s.f.). Página web oficial. <https://ingeniosancarlos.com.co/>

- Laumayer (s.f.). Pantallas touch. <https://laumayer.com/productos/pantallas-touch/>
- Maloney, T. (2006). Electrónica Industrial Moderna. En T. Maloney, electrónica Industrial Moderna (págs. 74 - 159). México: Pearson Prentice Hall.
- MUseoFIQ. (s.f.). Centrífuga. <https://fiq.unl.edu.ar/museo/archivo/colecciones/centrifuga/>
- Palencia, O. (2024). El mantenimiento general. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1297/1/RED-70.pdf>
- Parra, P. Sarmiento, J. Quiroga, D. Cruz, A. (2019). Implementando el marco educativo CDIO utilizando la metodología EBPr, en la asignatura “Internet de las cosas: aplicaciones en salud”. Universidad del Rosario.
- Restrepo, G., & Lopera, M. A. (2015). CDIO: una gran estrategia de formación en ingeniería. Revista Ingeniería y Sociedad, (9), 33-39.
- Siemens. (s.f.). Productos y servicios. <https://www.siemens.com/co/es/compania/contactanos-siemens-colombia.html>
- Sydle. (2022). Automatización de procesos: ¿cómo funciona? ¿Cuáles son los beneficios? <https://www.sydle.com/es/blog/automatizacion-de-procesos-6070ae4c9b901904c4349dcb>
- Torres, F. (2011). Introducción a la automatización y el control. Alicante: Aurova.
- Universidad de Los Andes. (s.f.). Metodologías de Trabajo. <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/eventos/metodologias-de-trabajo>
- Zapata, M. Topón, L. Tipán, E. (2021). Fundamentos de Automatización y Redes Industriales. Editorial de la Universidad Tecnológica Indoamérica. Quito, Ecuador.

## Apéndices

### Apéndice A

#### Lista de Chequeo Diaria



#### LISTA DE CHEQUEO DIARIA

Dependencia: \_\_\_\_\_

Proyecto: Modernización de la centrífuga Roberts

Documento: Lista de Chequeo Diaria

|                           |       |   |
|---------------------------|-------|---|
| <b>Fecha:</b> (DD/MM/AA)  | _____ | <b>Turno:</b> T1 <input type="checkbox"/> T2 <input type="checkbox"/> T3 <input type="checkbox"/> |
| <b>Operario</b> (técnico) | _____ | <b>Supervisor:</b> _____  |

#### Objetivo:

Verificar el estado general de la centrífuga Roberts y prevenir situación crítica.

#### Instrucciones:

1. Marque con "X" si el ítem se encuentra en condiciones normales, "Falla" si presenta anomalías o "No Aplica" si no corresponde a la inspección del día.
2. Si marca "Falla", describa en "Observaciones" la anomalía detectada y notifique al supervisor.

| Ítem   | Normal                   | Falla                    | No Aplica                | Observaciones |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1. Área de trabajo limpia y libre de obstrucciones.              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 2. Alarmas en la HMI (DELTA) inactivas.                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 3. Cableado en buen estado (sin cortes, sin sobrecalentamiento). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 4. Temperatura de motor principal dentro de rango.               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 5. Vibraciones o ruidos anormales.                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 6. Estado de contactores y relés (visual).                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 7. Parámetros de lavado/purga correctos en el PLC.               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 8. Verificación de fugas de agua o aceite.                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 9. Estado de actuadores (visual).                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |

#### Firmas:

- Operario (técnico): \_\_\_\_\_
- Supervisor: \_\_\_\_\_

## Apéndice B

### Lista de Chequeo Semanal



#### LISTA DE CHEQUEO SEMANAL / MENSUAL

Dependencia: \_\_\_\_\_

Proyecto: Modernización de la centrífuga Roberts

Documento: Lista de Chequeo Semanal / Mensual

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Fecha: (DD/MM/AA) _____   | Operario (técnico) _____ |
| Tipo de Inspección: Semanal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> | Supervisor: _____        |

#### Objetivo:

Verificar parámetros más detallados y componentes críticos que requieren inspección periódica.

| Ítem   | Ok                       | Falla                    | No Aplica                | Observaciones |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 1. Calibración de pantalla (DELTA)                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 2. Limpieza interna del tablero de control (polvo, humedad). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 3. Ajuste de cableado y borneado (revisar borneras).         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 4. Estado de relés y módulos de expansión (indicadores LED). | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 5. Parámetros de PLC (tiempos de lavado/purga/secado).       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 6. Temperatura motor principal (medición).                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 7. Limpieza y verificación de actuadores (neumáticos).       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 8. Temperatura motor reversa (medición).                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |
| 9. Estado de conectores Ethernet y comunicación HMI-PLC.     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |               |

#### Firmas:

- Operario (Técnico) \_\_\_\_\_
- Supervisor: \_\_\_\_\_

## Apéndice C

### Formato de Mantenimiento Correctivo



#### FORMATO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

**Dependencia:** \_\_\_\_\_

**Proyecto:** Modernización de la centrifuga Roberts

**Documento:** Formato de Mantenimiento Correctivo

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>Fecha de la falla:</b> (DD/MM/AA) _____ | <b>Hora de la falla:</b> _____       |
| <b>Reportado por</b> (Operario): _____     | <b>Revisado por</b> (Técnico): _____ |

#### Sección A: Descripción de la Falla

1. **Síntomas:** (Alarmas HMI, ruido, vibración, etc.)
2. **Ubicación / Afectación:** (Controlador de descarga, relés de fuerza, etc.)

#### Sección B: Diagnóstico y Acciones Tomadas

1. **Diagnóstico inicial:** \_\_\_\_\_
2. **Componente(s) cambiado(s) / reparado(s):** \_\_\_\_\_
3. **Pruebas posteriores** (marcha en vacío, verificación de alarmas, etc.): \_\_\_\_\_

#### Sección C: Validación de la Reparación

| Validación Post-Reparación | Resultado  | Observaciones |
|----------------------------|--|---------------|
| Ciclo de Lavado            | <input type="checkbox"/> Ok <input type="checkbox"/> Falla |               |
| Ciclo de Purga             | <input type="checkbox"/> Ok <input type="checkbox"/> Falla |               |
| Ciclo de Secado / Descarga | <input type="checkbox"/> Ok <input type="checkbox"/> Falla |               |
| Ciclo en vacío             | <input type="checkbox"/> Ok <input type="checkbox"/> Falla |               |

#### Sección D: Causas y Recomendaciones

- **Causa raíz:** \_\_\_\_\_
- **Recomendaciones:** \_\_\_\_\_

#### Firmas:

- **Operario** (técnico): \_\_\_\_\_
- **Supervisor:** \_\_\_\_\_