



**Repotenciación de los Sistemas de Control y SCADA de los Molinos Dedini en el Ingenio
Azucarero del Norteo IANCEM**

Guevara Sánchez, Daniel Alexander y Terán Chancusig, Darwin Alexis

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,
Automatización y Control

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro Mgs.

18 de julio de 2023



Plagiarism report

Guevara_Teran_Tesis_2.pdf

HUGO RAMIRO
ORTIZ TULCAN

Scan details

Scan time:
July 14th, 2023 at 13:26 UTCTotal Pages:
86Total Words:
21338

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	1%	205
Minor Changes	0.4%	87
Paraphrased	3.3%	696
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage

- AI text
- Human text



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Repotenciación de los Sistemas de Control y SCADA de los Molinos Dedini en el Ingenio Azucarero del Noroeste IANCEM”** fue realizado por los señores **Guevara Sánchez, Daniel Alexander y Terán Chancusig, Darwin Alexis**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, lunes 17 de julio de 2023



Firmado electrónicamente por:
**HUGO RAMIRO
ORTIZ TULCAN**

.....
Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro, Mgs.

C.C. 1707721591



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Guevara Sánchez, Daniel Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1720671534 y **Terán Chancusig Darwin Alexis**, con cédula de ciudadanía n°1003715149, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Repotenciación de los Sistemas de Control y SCADA de los Molinos Dedini en el Ingenio Azucarero del Noroeste IANCEM** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 17 de julio de 2023

.....
Guevara Sánchez, Daniel Alexander

C.C.: 1720671534

.....
Terán Chancusig, Darwin Alexis

C.C.: 1003715149



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Nosotros, **Guevara Sánchez, Daniel Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1720671534 y **Terán Chancusig Darwin Alexis**, con cédula de ciudadanía n°1003715149, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Repotenciación de los Sistemas de Control y SCADA de los Molinos Dedini en el Ingenio Azucarero del Northeo IANCEM** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 17 de julio de 2023

.....
Guevara Sánchez, Daniel Alexander

C.C.: 1720671534

.....
Terán Chancusig, Darwin Alexis

C.C.: 1003715149

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación primero a Dios quien me ha permitido cumplir una meta más en mi vida académica. A mi padre Manuel quien en vida me supo brindar su amor, paciencia, conocimientos, consejos, para hoy ser un profesional. A mi madre María Esther quien siempre ha creído en mí y me ha apoyado incondicionalmente, siempre velando por el bienestar de mí y toda mi familia. A mis hermanas Carlita y Estefany quienes son mi ejemplo a seguir, siempre han estado ahí apoyándome moralmente e incluso económicamente. A mi tía Margory quien han sido como otra madre para mí, me ha cuidado y respaldado desde mi primer día en el jardín y lo sigue haciendo hasta el día de hoy. A mi abuelita Edelina quien en vida me supo brindar su amor y cariño incondicional, siempre la tendré en mi corazón. A mi cuñado Emerson quien ha sido como un hermano y ha colocado su granito de arena en mi vida académica y a mi sobrino Samuel quien ha llegado a alegrar el hogar y la vida de toda la familia.

Daniel Alexander Guevara Sánchez

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a Ercilia y José mis padres, a Patricia y Jhonny mis hermanos, quienes con su amor incondicional y mucha paciencia han velado siempre por mi bienestar, me han apoyado en todo momento y han hecho posible alcanzar esta meta, este logro es de todos, no habría podido sin su apoyo tanto moral como económico.

A mi hermano Jhonny que a pesar de nuestras grandes diferencias hemos logrado alcanzar varios objetivos en los últimos años y que, como buenos profesionales junto con Paty y David, que llevamos siempre presente las mejores enseñanzas de nuestros padres, seguir con nuevos proyectos apoyándonos siempre.

Darwin Alexis Terán Chancusig

Agradecimiento

Agradezco a Dios por regalarme aun la vida para seguir cumpliendo los objetivos que me he trazado, el camino ha sido fuerte pero nunca me ha dejado caer. Quiero hoy agradecer a todo mi círculo familiar, quienes me han apoyado en todos los momentos a lo largo de mi carrera profesional. Especialmente agradezco a mi madre por ser esa luz que Dios me ha regalado porque sin su amor, consejos, ayuda, nada de esto hoy fuera posible. A mi tía Margory quien ha sido como una segunda madre para mí guiándome a cada momento, brindándome sus consejos y amor incondicional.

A todos quienes conforman la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", gracias a tan noble institución hoy puedo culminar mi etapa universitaria. A nuestro tutor Ing. Hugo Ortiz quien ha sumado su hombro para llevar a cabo nuestro proyecto de titulación.

A mis amigos y compañeros de la carrera con quienes he compartido la mayor parte de tiempo en esta etapa realizando trabajos, proyectos, estudiando para exámenes, compartiendo desvelos, fríos, angustias, pero sobre todo buenos momentos. A mi compañero de tesis Darwin con quien hemos formado una buena amistad, cursando semestre tras semestre y hoy poder graduarnos. A Katy quien me llenó con su amor, cariño y bondad, creyendo en mis capacidades para llegar al final, siempre le tendré un agradecimiento muy especial por todo lo que hizo por mí.

Finalmente agradecer a la empresa SEIUS S.A. por confiar en nosotros y poder llevar a cabo este proyecto para titularnos.

Daniel Alexander Guevara Sánchez

Agradecimiento

Agradezco a Dios por las oportunidades que ha presentado en mi vida, a mis Padres que siempre me han apoyado, por las enseñanzas y valores que han inculcado en mí; a la prestigiosa Universidad de las Fuerzas Armadas y sus excelentes docentes con vocación quienes han compartido su vasto conocimiento y experiencia para formar excelentes profesionales, en especial al Ingeniero Hugo Ortiz por compartir su conocimiento en las materias de Instrumentación Industrial y Control de procesos, además del gran apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco a mis familiares que siempre han estado pendientes de mí y me han apoyado con sus palabras y gestos de gran aprecio, familia Reascos-Pinchao y Ortega-Cocha. Al cielo a mi tía Esther Chancusig, por su inmensa ayuda, este logro es también por ella.

Agradezco a mis compañeros y amigos con quienes he compartido durante este período de estudios, en especial a Daniel Guevara y su linda familia por el apoyo brindado.

A mi niña Karen Liseth agradecerle de todo corazón por su tiempo, paciencia, cariño y amor desde la pandemia del 2020, ha sido un gran apoyo para mí.

Agradecer a la empresa Seius S.A. por la oportunidad y el apoyo para la ejecución del presente proyecto, en especial a los ingenieros Luis y Eduardo Urbina y al ingeniero Luis Tapia por compartir su conocimiento y experiencia.

Darwin Alexis Terán Chancusig

Índice de contenido

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	8
Resumen	22
Abstract.....	23
Capítulo I. Introducción	24
Antecedentes	24
Justificación e Importancia	26
Alcance	27
Objetivos	31
Objetivo General.....	31
Objetivos Específicos.....	31
Descripción del proyecto	32
Capítulo II. MARCO REFERENCIAL.....	34
Molienda de la caña de azúcar	34
Sistema de Control Industrial.....	35
Controlador Lógico Programable (PLC)	35
Advantys STB	36
Redes Industriales.....	36
Ethernet/IP.....	37
Modbus TCP	38

Protocolo IIS	39
Medio físico de Ethernet	39
Sistema HMI.....	40
Metodología de Diseño de HMI.....	40
Ventajas de los sistemas HMI	40
Guía de Alto Desempeño (High Performance) para HMIs	42
Sistema SCADA.....	42
Características de un sistema SCADA.....	42
Ventajas de un sistema SCADA.....	43
Estándar ANSI/ISA-101.01.2015	44
Principios de Diseño	44
Conexiones Industriales	46
Conexión a módulo Telefast.....	46
Ventajas de la conexión a módulo Telefast	46
Equipos e Interfaces.....	46
Estación de Operación.....	47
Montaje de Equipos en un Tablero de Control	47
Capítulo III. DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SCADA DE LA EMPRESA IANCEM	48
Arquitectura de Red antes de la actualización	52
Arquitectura de Red actualizada.....	53

Diagrama de bloques del procedimiento de diseño	54
Identificación de equipos actuales y requisitos de los sistemas de Control y SCADA.....	55
Selección de componentes.....	59
Caracterización de equipos y software para el Sistema de Control	61
Controlador Lógico Programable PLC Modicon M580 BMEP582020.....	61
Rack de 12 posiciones BMEXBP1200	62
Fuente de alimentación BMXCPS3500	63
Módulo de 8 entradas analógicas BMXAMI0810.....	63
Accesorio conector telefast BMXFTA150.....	64
Módulo de 8 salidas analógicas BMXAMO0802.....	65
Accesorio conector telefast BMXFTA152.....	65
Módulo de 16 entradas digitales BMXDDI1602.....	66
Accesorio terminal a tornillo BMXFTB2010.....	67
Módulo de 16 salidas digitales BMXDDO1602.....	67
Cable USB industrial BMXXCAUSBH018	68
Puerto de enlace Ethernet EGX150	69
Integración del hardware	69
Etapa de diseño de la conexión del nuevo hardware.....	70
Conexión del hardware del PLC.....	71
Conexión de los módulos Telefast	73
Requerimiento de hardware para SCADA.....	76

Migración del proyecto al PLC Modicon M580.....	77
Unity M580 Application Converter.....	78
Reprogramación del PLC M580.....	80
Reprogramación del Módulo Advantys STBNIP2212.....	84
Software utilizado para el SCADA	87
Licencia de AVEVA Edge Studio + SCADA	88
Estándares de sistemas SCADA (HMI)	89
Filosofía	90
Guía de estilo.....	91
Kit de herramientas SCADA.....	94
Etapa de diseño del SCADA.....	96
Análisis de usuarios y funciones	97
Diseño de pantallas SCADA	99
Importación de tags	108
Generación de alertas y mensajes.....	108
Generación de históricos	109
Acciones y comandos en el SCADA	110
Etapa de rediseño de la pantalla HMI.....	113
Guía de estilo.....	113
Kit de herramientas SCADA.....	116
Etapa de rediseño.....	118

Capítulo IV. SIMULACIÓN E IMPLMETANCIÓN	123
Conexión entre PLC – SCADA – HMI.....	123
Configuraciones para simular el PLC	125
Configuraciones para simular el SCADA	126
Configuraciones para simular la pantalla HMI.....	127
Simulación entre PLC – SCADA – HMI	127
Montaje de la arquitectura del hardware del PLC Modicon M580	129
Instalación del software EcoStruxure Control Expert V15.0 en la PC de la cabina de control	135
Descarga del programa hacia el PLC M580	135
Instalación del software AVEVA Edge 2020 en la PC de la cabina de control	136
Implementación del SCADA en la PC de la cabina de control	137
Descargar del programa en la pantalla HMI S5T de la cabina de control.....	139
Implementación del cliente web.....	140
Capacitación al personal	142
Capítulo V. PRUEBAS Y RESULTADOS	144
Pruebas FAT	144
Pruebas SAT	146
Comisionado de las señales.....	148
Prueba del SCADA.....	149
Encuesta de satisfacción	151

Resultados de producción	158
Capítulo VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
Conclusiones.....	160
Recomendaciones.....	162
Trabajos futuros	163
Bibliografía.....	164
Apéndices	170

Índice de tablas

Tabla 1	Jerarquía de pantallas según ISA 101	45
Tabla 2	Identificación de equipos actuales	55
Tabla 3	Requerimientos de hardware para SCADA.....	77
Tabla 4	Estilo de colores en pantallas del SCADA.....	92
Tabla 5	Estilo de colores para alarmas en pantallas del SCADA	94
Tabla 6	Tipos de usuario y funciones en el sistema SCADA.....	98
Tabla 7	Contenido de las pantallas de nivel 1	102
Tabla 8	Contenido de las pantallas de nivel 4.....	104
Tabla 9	Contenido de las pantallas de nivel 4.....	115
Tabla 10	Resumen de pruebas FAT en la empresa SEIUS S.A.....	145
Tabla 11	Resumen de pruebas SAT en la empresa IANCEM.....	147

Índice de figuras

Figura 1 Arquitectura de red actual	26
Figura 2 Arquitectura de red a implementarse.....	28
Figura 3 Molinos de la empresa IANCEM.....	34
Figura 4 Ejemplo arquitectura Ethernet/IP.....	37
Figura 5 Modelo propuesto por la norma ISO 13407	41
Figura 6 Vista del proceso de molienda desde la cabina de control	49
Figura 7 Componentes de la cabina de control	50
Figura 8 Arquitectura de red antes de la actualización	52
Figura 9 Arquitectura de red actualizada.....	53
Figura 10 Diagrama de bloques del procedimiento de diseño	54
Figura 11 PLC Schneider Modicon M580 BMEP582020	62
Figura 12 Rack de 12 posiciones BMEXBP1200.....	63
Figura 13 Fuente de alimentación BMXCPS3500	63
Figura 14 Módulo de 8 entradas analógicas BMXAMI0810	64
Figura 15 Conector telefast BMXFTA150.....	64
Figura 16 Módulo de salida analógica BMXAMO0802.....	65
Figura 17 Conector telefast BMXFTA152	66
Figura 18 Módulo de entradas digitales BMXDDI1602	66
Figura 19 Accesorio terminal a tornillo BMXFTB2010	67
Figura 20 Módulo de salidas digitales BMXDDO1602	68
Figura 21 Cable USB industrial BMXXCAUSBH018.....	68
Figura 22 Pasarela Ethernet EGX150	69
Figura 23 Integración del hardware	70
Figura 24 Parámetros que sugiere el fabricante para el montaje del hardware del PLC.....	71

Figura 25 Dimensiones del hardware del PLC Premium TSX P57	72
Figura 26 Dimensiones del hardware del PLC Modicon M580	72
Figura 27 Esquema de conexión Telefast con módulos TSX.....	73
Figura 28 Esquema de conexión Telefast con módulos BMX AMI.....	74
Figura 29 Esquema de conexión Telefast con módulos BMX AMO.....	75
Figura 30 Plano eléctrico de conexiones Telefast	76
Figura 31 Guía de ayuda para migrar el programa al PLC M580.....	78
Figura 32 Preparación del programa original para migración	79
Figura 33 Migración del programa original de PLC Premium a PLC M580	79
Figura 34 Programa migrado al PLC M580	80
Figura 35 Configuración IP PLC M580	81
Figura 36 Arquitectura de Hardware del PLC M580	81
Figura 37 Asignación de variables en el PLC M580	82
Figura 38 Ejemplo de errores de programación en lenguaje FBD en PLC M580.....	83
Figura 39 Arquitectura del Hardware entre M580 y Advantys STBNIP2212_006	84
Figura 40 Configuración de la IP y Role Name del Advantys STBNIP2212_006	85
Figura 41 Configuración del Advantys STBNIP2212_006	85
Figura 42 Ejemplo de reprogramación en lenguaje ST de los espacios de memoria del Advantys STBNIP2212_006.....	86
Figura 43 Acerca de AVEVA Edge IDE	87
Figura 44 Ciclo de vida de un HMI según ISA101	89
Figura 45 Simbología P&ID basada en la norma ISA S5.1	95
Figura 46 Software de diseño para pantallas del SCADA AVEVA Edge Studio.....	96
Figura 47 Configuración de los tipos de usuario.....	97
Figura 48 Pantalla de inicio actual del SCADA.....	99

Figura 49 Pantalla de preparación actual del SCADA	100
Figura 50 Pantalla de molinos actual del SCADA.....	100
Figura 51 Distribución de pantallas del SCADA.....	101
Figura 52 Distribución de componentes en pantallas del SCADA.....	103
Figura 53 Pantalla de nivel 4 protecciones de motor	105
Figura 54 Pantalla de nivel 4 Sintonización PID	105
Figura 55 Pantalla de nivel 4 controles de motores	106
Figura 56 Pantalla de nivel 4 pregunta de confirmación	106
Figura 57 Pantalla de nivel 4 derivaciones o by-pass.....	107
Figura 58 Navegación entre pantallas	107
Figura 59 Importación de tags desde PLC a SCADA	108
Figura 60 Configuración de alertas en el SCADA.....	109
Figura 61 Configuración del grafico de tendencias en el SCADA	110
Figura 62 Configuración de acciones y comandos en el SCADA	111
Figura 63 Diseño final de pantalla de inicio SCADA	112
Figura 64 Diseño final de pantalla emergente SCADA	112
Figura 65 Jerarquía y navegación de pantallas de la pantalla HMI.....	114
Figura 66 Navegador de la pantalla HMI en el entorno de Vijeo Designer.....	116
Figura 67 Configuración del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.....	117
Figura 68 Configuración de direccionamiento hacia el PLC M580.....	118
Figura 69 Distribución de pantallas de HMI	119
Figura 70 Pantalla de nivel 1 del HMI.....	119
Figura 71 Pantalla de nivel 2 del HMI.....	120
Figura 72 Pantalla de nivel 3 del HMI.....	120
Figura 73 Pantalla de nivel 4 del HMI.....	121

Figura 74 Ejemplo de pantallas del HMI	121
Figura 75 Ejemplo de configuración de IP en las PCs simuladas	124
Figura 76 Prueba de conexión entre PLC y SCADA simulado.....	124
Figura 77 Prueba de conexión entre PLC y HMI simulado	125
Figura 78 Modalidad Simulación en el software Control Expert.....	125
Figura 79 Configuración de la dirección IP del PLC en el software Control Expert	125
Figura 80 Ejemplo de direccionamiento apuntado desde el SCADA al PLC en el software AVEVA Edge	126
Figura 81 Barra de herramientas del software Vijeo Designer	127
Figura 82 Tabla de animación con variables aleatorias	127
Figura 83 Simulación de pantalla de inicio, con valores escritos y leídos.	128
Figura 84 Simulación entre PLC y HMI	128
Figura 85 Desmontaje de los equipos antiguos.....	129
Figura 86 Desconexión de módulos del PLC Premium.....	130
Figura 87 Perforaciones para el nuevo rack.....	130
Figura 88 Montaje del hardware del PLC M580.....	131
Figura 89 Conexión punto a punto de las señales digitales de E/S	131
Figura 90 Conexión punto a punto de las señales digitales de E/S	132
Figura 91 Conexión del módulo Advantys STBNIP2212.....	133
Figura 92 Conexión de la pantalla HMI S5T	133
Figura 93 Arquitectura del hardware del PLC M580 implementada.....	134
Figura 94 Software de activación de licencia EcoStruxure Control Expert V15.0.....	135
Figura 95 Conexión en línea con el PLC M580	136
Figura 96 Código de activación para la licencia AVEVA Edge 2020.....	137
Figura 97 Configuración de la IP del SCADA en la PC de la cabina del control.....	137

Figura 98 Configuración de los servicios IIS.....	138
Figura 99 Configuración de la pantalla HMI de la cabina del control	139
Figura 100 Descarga del programa hacia la pantalla HMI	139
Figura 101 Guardar proyecto SCADA como HTML	140
Figura 102 Configuración de la ruta de acceso del proyecto del SCADA	141
Figura 103 Configuración de los mime types.....	141
Figura 104 Capacitación sobre el PLC M580 al personal de la empresa IANCEM	142
Figura 105 Capacitación sobre el SCADA al personal de la empresa IANCEM.....	143
Figura 106 Montaje de equipos para pruebas FAT.....	144
Figura 107 Comisionado del nivel de tanque de fábrica	148
Figura 108 Pruebas del SCADA	149
Figura 109 Prueba de forzado de apagado del CPU del SCADA	150
Figura 110 Gráfico de respuestas sobre la operación del proceso	151
Figura 111 Gráfico de respuestas sobre el monitoreo del proceso en el PLC M580.....	152
Figura 112 Gráfico de respuestas sobre el nuevo PLC M580.....	152
Figura 113 Gráfico de respuestas sobre el monitoreo del proceso en el SCADA	153
Figura 114 Gráfico de respuestas sobre el estilo de colores utilizado en la pantalla HMI	153
Figura 115 Gráfico de respuestas sobre los íconos que se presenta en el SCADA.....	154
Figura 116 Gráfico de respuestas sobre el estilo de colores que se presenta en el SCADA ..	155
Figura 117 Gráfico de respuestas sobre menú de navegación del SCADA.....	155
Figura 118 Gráfico de respuestas sobre la carga visual que se presenta en el SCADA	156
Figura 119 Gráfico de respuestas sobre la semejanza del SCADA con el proceso real	157
Figura 120 Gráfico de respuestas sobre la calificación hacia la pantalla HMI S5T	157
Figura 121 Gráfico de respuestas sobre la calificación hacia el SCADA	158
Figura 122 Producción antes y después de la repotenciación	159

Resumen

En el presente trabajo de titulación se presenta la repotenciación de los sistemas de Control y SCADA de los molinos Dedini en el Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM), ubicada en la Panamericana Norte, sector Tababuela, Km 25 vía Tulcán – Ibarra, provincia de Imbabura – Ecuador. Se planteó una nueva arquitectura de red basándose en el protocolo Modbus TCP/IP y el medio físico de Ethernet para lograr una amplia disponibilidad, escalabilidad, seguridad y alta velocidad en transmisión de datos. Se efectuó un análisis de los equipos actuales y se identificó los que deben ser actualizados, por lo tanto, se seleccionaron equipos de iguales o mejores características que satisfagan los requerimientos del proceso de molienda, para mejorar la confiabilidad en la operación, elevar la productividad, facilitar el mantenimiento al operador y prolongar la vida útil de los equipos. Para el diseño e implementación del SCADA y el rediseño de la pantalla HMI se tomó en cuenta las consideraciones y recomendaciones que dicta la norma ANSI/ISA-101.01-2015, la Guía de Alto Rendimiento (*High Performance*) y las guías internas empresariales. Se realizó una etapa de simulación previo a la implementación en campo, para reducir errores o fallas en la comunicación, migración y reprogramación de los equipos, debido al tiempo limitado de paro de la planta para el montaje e implementación de los nuevos equipos y sistemas. El comisionado de señales se realizó para comprobar la escritura y lectura de datos entre los sistemas, sensores y actuadores de campo. Antes de la puesta en marcha del sistema de molienda se realizó la capacitación del personal operativo y se evidenció los resultados de satisfacción del operador mediante una encuesta.

Palabras clave: Modbus TCP/IP, *High Performance*, Ethernet, SCADA, HMI, Comisionado.

Abstract

In this graduation project, the upgrade of the Control and SCADA systems of the Dedini mills in the Sugar Mill of the North (IANCEM), located on the North Pan-American Highway, Tababuela sector, Km 25 via Tulcán - Ibarra, Imbabura province - Ecuador, is presented. A new network architecture was proposed based on the Modbus TCP/IP protocol and Ethernet as the physical medium to achieve wide availability, scalability, security, and high-speed data transmission. An analysis of the current equipment was carried out, identifying the ones that need to be updated. Therefore, equipment with equal or better characteristics that meet the requirements of the milling process were selected to improve operational reliability, increase productivity, facilitate maintenance for the operator, and prolong the equipment's lifespan. The design and implementation of the SCADA and the redesign of the HMI screen took into account the considerations and recommendations stated by the ANSI/ISA-101.01-2015 standard, the High-Performance Guide, and internal company guidelines. A simulation stage was conducted prior to the field implementation to reduce errors or failures in communication, migration, and reprogramming of the equipment due to the limited plant shutdown time for the installation and implementation of the new equipment and systems. Signal commissioning was performed to verify the writing and reading of data between the systems, field sensors, and actuators. Before the commissioning of the milling system, training was provided to the operational staff, and operator satisfaction results were evidenced through a survey.

Keywords: Modbus TCP/IP, High Performance Guide, Ethernet, SCADA, HMI, Commissioner

Capítulo I. Introducción

Antecedentes

La empresa Ingenio Azucarero del Norte (IANCEM) se encuentra ubicada en la Panamericana Norte, sector Tababuela, Km 25 vía Tulcán – Ibarra, provincia de Imbabura – Ecuador. Tiene como funciones principales “cultivar caña de azúcar, elaborar y comercializar sus productos derivados, cumpliendo los requisitos de calidad, responsabilidad social y ambiental, mediante la mejora continua de los procesos” (Ingenio Azucarero del Norte, 2019).

La empresa cuenta con un sistema industrial automatizado para el procesamiento de la caña de azúcar, a este sistema se lo denomina Molinos Dedini y consta de ciertas etapas que se dan a conocer a continuación: enjuague, separación, molienda, obtención del jugo, desecho de bagazo, entre otros. En este sistema se procesa una cantidad aproximada de 1000 a 1300 toneladas de caña de azúcar al día, considerando una jornada completa de 24 horas. Con el producto final se elaboran los derivados de la caña de azúcar y los desechos del bagazo son reutilizados para la generación de energía eléctrica.

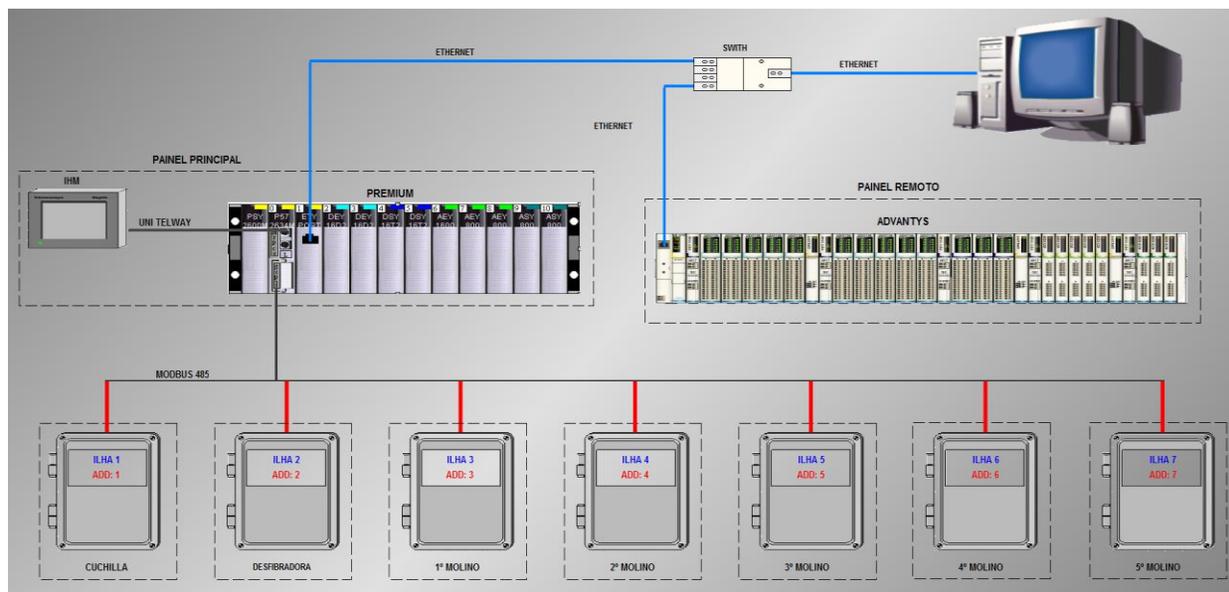
IANCEM dispone de un sistema de control implementado desde el año 2012, este fue desarrollado por una firma brasileña, dado el tiempo transcurrido el sistema se considera antiguo o desactualizado lo que ha provocado que entre en estado “Legacy” (equipos desactualizados, pero continúan en uso porque vienen desempeñando funciones importantes dentro de la empresa), debido a que varios de los componentes principales como el PLC, módulos Entrada/Salida (E/S) y comunicación, así como el software Indusoft están descontinuados por la marca fabricante, además de no existir repuestos, tener pérdidas de información y paros no deseados debido a la falta de actualizaciones.

La empresa opera con equipos de la marca Schneider Electric como soporte para realizar los procesos automáticos industriales del sistema de molienda. Poseen un sistema de

Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), este hace referencia a la adquisición de datos, el control para poner en marcha, detener o continuar el proceso y supervisión de la producción por medio de una estación central y varias estaciones remotas.

En la Figura 1 se puede observar la arquitectura de red del sistema actualmente en operación. El PLC Modicon TSX Premium se ha descontinuado por parte del fabricante, por lo que la empresa IANCEM ha venido teniendo problemas de pérdida de información, paros no deseados en la producción, reinicio o bloqueo del sistema, entre otros. La pantalla HMI Schneider S5T se encuentra comunicada mediante el protocolo Uni Telway hacia el PLC, el cual es considerado antiguo y se utiliza para la comunicación de datos en tiempo real y el control de dispositivos industriales en un entorno de automatización. Las islas se encuentran comunicadas por protocolo MODBUS RS485. Adicionalmente se dispone de un controlador Advantys STB, este permite incorporar una isla de E/S distribuidas teniendo facilidad en su instalación y configuración, donde los módulos de E/S pueden instalarse lo más cercano posible a los dispositivos de campos mecánicos que controla.

En el PC del operador se encuentra alojado el sistema SCADA, el cual es el encargado de recopilar datos, presentar de manera visual la información del proceso en tiempo real, realizar acciones de control, almacenar datos para su futuro análisis, generar alarmas cuando se detectan situaciones anormales e integrarse con otros sistemas. Este sistema se comunica con el módulo Modicon Advantys a través de un *switch* utilizando el medio físico de Ethernet, donde extrae la información de las variables para ser mostradas al operador.

Figura 1*Arquitectura de red actual*

Nota. El gráfico representa el estado actual de la arquitectura de red, que cuenta la empresa IANCEM. Tomado del *Respaldo del sistema de Control y SCADA*, por IANCEM, 2012.

Justificación e Importancia

Para el procesamiento a gran escala de la caña de azúcar y obtención de sus principales derivados la empresa IANCEM cuenta con equipos industriales eléctricos y electrónicos que se encuentran en funcionamiento diario de manera continua e ininterrumpida. Los equipos han sido instalados en el año 2012 y ya ha transcurrido el tiempo que el fabricante sugiere realizar un cambio o actualización, debido a que se consideran equipos en estado “Legacy”. Por las consideraciones antes mencionadas es importante la actualización de los sistemas de Control y SCADA con el fin de evitar y disminuir inconvenientes de producción, paros no deseados, pérdida de información y facilitar el trabajo de los operadores.

Con el avance de la tecnología en los procesos industriales, la empresa en cumplimiento de su objetivo de mejora continua de la eficiencia, seguridad, productividad y

manejo de datos, considera la necesidad de actualizar Hardware y Software de los controladores del sistema de molinos, dado que estos equipos pasan por tiempos de obsolescencia.

La empresa IANCEM se encuentra en una etapa de modernización y mantenimiento de sus equipos, por lo tanto, es importante renovar los sistemas de Control y SCADA con la finalidad de mejorar el estándar de calidad, funcionalidad, productividad, cumplir con regulaciones y actividades de mantenimiento, como la actualización de nuevos estándares industriales y pensando en un futuro alcanzar los objetivos de la industria 4.0.

Alcance

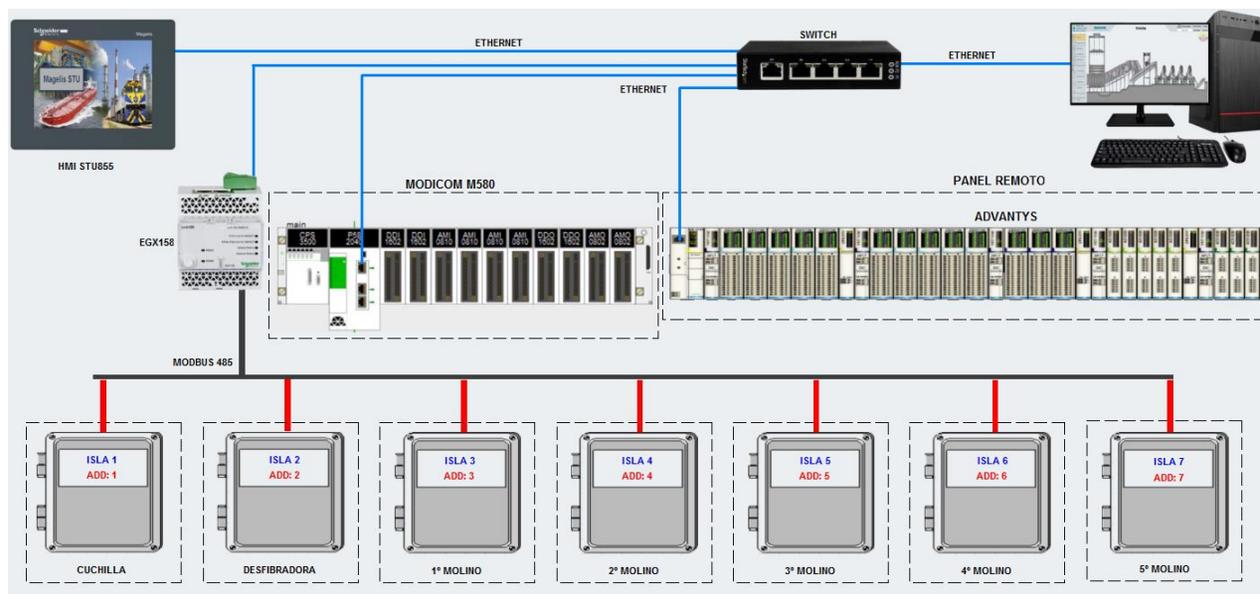
En la Figura 2 se puede observar la nueva arquitectura de red propuesta donde como elemento de control principal es el PLC de alta gama Modicon M580, el cual posee Ethernet nativo, un procesador multinúcleo, ciberseguridad integrada en su núcleo, eficiencia en los procesos, flexibilidad y rentabilidad en menos tiempo, por ende está diseñado para satisfacer los requisitos de automatización de procesos y aplicaciones de control de maquinaria en entornos industriales exigentes (Zarza, 2021).

En aplicaciones industriales de control se utiliza el protocolo Modbus TCP, debido a que es factible configurar, operar, mantener y ampliar la red, manejando grandes cantidades de datos a alta velocidad. El PLC Modicon M580 cuenta con Ethernet nativo lo que minimiza la compra de un módulo adicional de comunicación, por ello se aprovecha esta ventaja del PLC para realizar la comunicación y la integración entre los equipos.

El sistema de control de la empresa IANCEM se encuentra funcionando y operativo, los principales equipos de control son de la marca de Schneider Electric por lo que se requiere actualizar bajo la misma marca por políticas empresariales.

Figura 2

Arquitectura de red a implementarse



Nota. El gráfico representa la arquitectura de red repotenciada, donde se cuenta con los nuevos equipos, todos los equipos se conectan bajo el protocolo Modbus TCP mediante el medio físico de Ethernet.

Este sistema es de suma importancia en un proceso automatizado, debido a que se puede tener el control total de datos, ya sea de manera local o remota. Para cumplir con el nuevo sistema SCADA se diseñará bajo la Norma ISA 101 y guías internas dadas a conocer por la empresa (Intech, 2019).

El alcance del proyecto de titulación incluye la actualización y modernización de los sistemas de Control y SCADA, considerando las siguientes etapas: identificación de requerimientos, selección de componentes, diseño de planos eléctricos, migración y reprogramación del PLC, reasignación de los tags, redireccionamiento de los tags para la conexión distribuida en el módulo Modicon Advantys STBNIP2212, diseño del SCADA,

rediseño de la pantalla HMI Schneider S5T, simulaciones, montaje e implementación, entrenamiento e inducción a los operadores y puesta en marcha de los sistemas.

Identificación de requerimientos

Inspección de los equipos, cableado, conexiones, que se tiene en el proceso de molienda, se identifica los requerimientos de la empresa y equipos a ser actualizados, y se realiza la caracterización de las variables de E/S tanto del PLC como del módulo Advantys.

Selección de componentes

Se selecciona los componentes a ser utilizados bajo la argumentación respectiva del por qué elegir dichos componentes y se detalla las características importantes de cada uno.

Diseño de planos eléctricos

Por parte de la empresa se ha requerido la elaboración de planos eléctricos de los cambios realizados en el proceso de molienda.

Migración y Reprogramación del PLC

Como se mostró en la figura 1 el controlador Premium y sus módulos serán reemplazados por un controlador Modicon M580 y módulos E/S. Estos equipos son los que sugiere el fabricante para una actualización de última generación.

Los usuarios de las líneas de CPU y los módulos de E/S del controlador Premium están cambiando a las arquitecturas Ethernet PlantStruxure que utilizan el CPU M580, por ello se utilizará el software de Unity M580 Application Converter (UMAC) para realizar la migración del controlador.

Para realizar la migración del controlador se deberá efectuar una configuración previa para utilizar el software UMAC. A continuación, se reprogramará los bloques de funciones

donde intervienen las etiquetas de entradas y salidas para al final realizar la simulación y comprobación de la conexión con el controlador y el sistema SCADA.

Reprogramación del Módulo Modicon Advantys

El módulo Modicon Advantys permite la conexión de E/S de manera distribuida, este se deberá reprogramar y reconfigurar la comunicación mediante el uso de DTMs (archivo que contiene información específica de cierto dispositivo industrial).

Diseño Sistema SCADA

La empresa azucarera cuenta con un sistema SCADA bajo el software de Indusoft, debido a que fue implementado por una firma brasileña se tiene confusión por parte de los operarios en símbolos, mezcla de idiomas, contraste inadecuado de colores, etc.

En primera instancia se va a adquirir la licencia del nuevo software donde se rediseñará y programará el sistema SCADA con todas sus funciones. Se planteará un diseño de una pantalla global del proceso de molienda, haciendo uso de la norma ISA101, siguiendo la guía de estilo de alto rendimiento y la guía interna de la empresa, debido a que el antiguo SCADA divide en dos pantallas el proceso principal de molienda. Una de las razones por la cual se divide es la existencia de 45 actuadores que son supervisados y controlados; como resultado se tiene información repetida y no consistente.

Rediseño HMI

La pantalla HMI se encuentra en el panel frontal del tablero principal, desde esta se monitorea todo el proceso de molienda. Esta pantalla será rediseñada aplicando la norma ISA101, siguiendo la guía de estilo de alto rendimiento (high performance) y la guía interna de la empresa.

Implementación, puesta en marcha, pruebas de funcionamiento y capacitación al personal en la empresa IANCEM

La implementación se realizará en el cuarto de control de la empresa IANCEM, donde se realizará el montaje y conexión de los nuevos equipos en el gabinete de control principal, haciendo uso de los terminales de conexión telefast requeridos para poder levantar la conexión de manera eficiente y eficaz.

Una vez finalizada la implementación se procederá a realizar las pruebas pertinentes de las señales que llegan y salen del controlador, comprobar la comunicación con el SCADA, validar la comunicación con el HMI y verificar la conexión con todas las islas.

Adicionalmente se brindará una capacitación al personal de la empresa para poder solventar dudas sobre el manejo del nuevo sistema y aplicar una encuesta de usabilidad y satisfacción.

Objetivos

Objetivo General

Repotenciar los sistemas de Control y SCADA del proceso de molienda de caña de azúcar de la empresa IANCEM mediante la renovación del controlador principal y la reprogramación y rediseño del sistema SCADA.

Objetivos Específicos

- Mejorar la confiabilidad en la operación del proceso de molienda mediante el diseño e implementación de un nuevo sistema de monitoreo y control basada en las normas ISA101 e IEC además de guías internas de la empresa.
- Mejorar la productividad del proceso de molienda mediante la actualización del Hardware y Software del controlador principal.

- Facilitar el mantenimiento para el operador del sistema de molienda mediante una interfaz clara y legible en idioma español, que disminuya el riesgo de accidentes del personal en mantenimiento.
- Prolongar la utilización de los equipos de los sistemas de control y SCADA del sistema de molienda mediante una sustitución por equipos de última generación en lugar de los equipos que están en estado “Legacy”.
- Facilitar la utilización del sistema de molienda mediante el uso de planos eléctricos para los operadores y personal de mantenimiento.

Descripción del proyecto

En el presente trabajo de titulación se desarrolla la Repotenciación de los sistemas de Control y SCADA del proceso de molienda de la empresa IANCEM. El desarrollo del trabajo está dividido en 6 capítulos que son descritos a continuación:

Capítulo II. Se presenta el marco conceptual, describiendo conceptos básicos que irán ligados al presente trabajo de titulación como redes de comunicación, normas y guías de diseño de pantallas HMI, controladores utilizados bajo la marca de Schneider Electric, protocolos de comunicación y software utilizados.

Capítulo III. Se documenta el desarrollo del trabajo de titulación incluyendo el proceso de migración, reprogramación de los controladores, configuración de la nueva red, el diseño del SCADA y el rediseño de la pantalla HMI.

Capítulo IV. En este capítulo se presenta las simulaciones realizadas en cuanto a conexión entre los controladores y sistema SCADA. También se muestra la etapa de implementación de los equipos.

Capítulo V. En este capítulo se presenta las pruebas y resultados que se obtuvieron con la repotenciación, así mismo los resultados obtenidos en una encuesta realizada a los operadores de la empresa.

Capítulo VI. Presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas con el desarrollo del presente trabajo de titulación de acuerdo con los objetivos planteados. También da paso a trabajos futuros que serán desarrollados en el sistema.

Capítulo II. MARCO REFERENCIAL

Molienda de la caña de azúcar

La molienda de la caña de azúcar es un proceso industrial complejo que implica varias etapas para producir azúcar a partir del jugo de la caña. Primero se corta la caña y se lleva al ingenio para que se procese. Luego se tritura la caña en molinos para extraer el jugo, se filtra y clarifica para eliminar impurezas, el desecho final o bagazo se lo quema para producir energía eléctrica. El jugo almacenado en los tanques tiende a tener restos de agua, por lo que se concentra en evaporadores y se calienta en clarificadores, finalmente el jarabe se cristaliza al vacío, se centrifuga para separar el azúcar y se seca en tambores rotativos. En la Figura 3 se puede observar los 5 molinos que existen en la empresa IANCEM, los cuales son los encargados de la extracción del jugo (Ingenio Azucarero del Norte, 2019)

Figura 3

Molinos de la empresa IANCEM



Nota: En el gráfico se representa los 5 molinos que existen en la empresa IANCEM, estos forman parte de la etapa de extracción. Tomado de *etapa de extracción*, por (Ingenio Azucarero del Norte, 2019)

Sistema de Control Industrial

Un sistema de control industrial es un conjunto de componentes, dispositivos y software que se utilizan para supervisar y controlar procesos en entornos industriales. Estos sistemas permiten la automatización y optimización de las operaciones industriales, asegurando un funcionamiento eficiente, seguro y confiable (Kruz, 2011)

Un sistema de control incluye los siguientes elementos:

- **Sensores y actuadores:** Los sensores se utilizan para medir variables físicas o estados de los procesos como: temperatura, presión, nivel, flujo, velocidad entre otros. Los actuadores son dispositivos que realizan acciones físicas en el proceso, como encender o apagar un motor.
- **Controladores:** Son los encargados de procesar la información de los sensores y tomar decisiones para controlar el proceso.
- **Software de control:** Se utiliza para programar y configurar los controladores, definir las lógicas de control, establecer parámetros y realizar ajustes en tiempo real.
- **Comunicación:** Los sistemas de control requieren una comunicación confiable y eficiente entre los componentes del sistema. Esto se logra mediante el uso de redes y protocolos de comunicación industrial como Ethernet IP, Modbus, Profibus, entre otros (García y Rioja, 2014)

Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC es un dispositivo electrónico que se usa para automatizar procesos industriales. Está diseñado para recibir señales de entrada, procesarlas mediante un programa lógico y enviar señales de salida para controlar actuadores u otros dispositivos. Los PLCs son ampliamente utilizados en industrias como la fabricación de automóviles, petróleo, alimentos y bebidas, entre otros. Una clara ventaja de utilizar un PLC en la industria es que permite

automatizar el proceso de manera eficiente, lo que puede llevar a una mayor producción y a una reducción de costos en mano de obra (Hackworth & Hackworth, 2004).

Advantys STB

Advantys es una gama de dispositivos de entrada y salida remota (I/O) distribuida perteneciente a Schneider Electric. Estos dispositivos son utilizados en sistemas de control y automatización en aplicaciones industriales. Los sistemas Advantys se componen de módulos de E/S, controladores de E/S, *modems* para transmisión de datos y software de configuración y programación.

Los dispositivos Advantys son conocidos por su capacidad para manejar grandes cargas y por su alta velocidad de transmisión de datos. Además, son muy flexibles y se pueden configurar para adaptarse a una amplia variedad de requisitos de aplicación (Schneider Electric, 2023)

Redes Industriales

Las redes industriales son sistemas de comunicación que conectan dispositivos y equipos utilizados en procesos industriales, con el propósito de mejorar la eficiencia y la automatización de dichos procesos. Poseen varias características importantes, como la capacidad de transmitir datos en tiempo real, la implementación de redundancia para asegurar la continuidad en la comunicación, la garantía de la seguridad de los datos y la interoperabilidad con diversos dispositivos y sistemas (Caicedo et al., 2015)

Existen varias ventajas asociadas al uso de redes industriales. En primer lugar, se logra una mejora significativa en la eficiencia y productividad de los procesos industriales, gracias a una comunicación más rápida y precisa entre los dispositivos conectados. Además, se reduce considerablemente los costos relacionados con el mantenimiento y la reparación de equipos, ya que las redes industriales facilitan la detección temprana de fallas y permiten un monitoreo

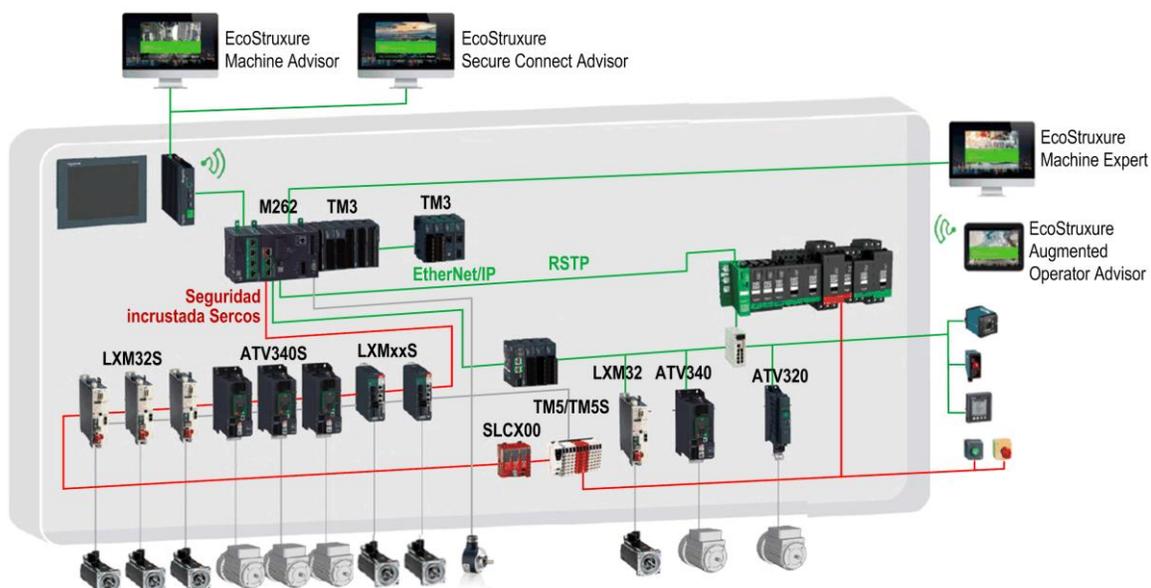
continuo del estado de los dispositivos. Por último, las redes industriales brindan mayor flexibilidad y escalabilidad a los sistemas, lo que permite adaptarse fácilmente a cambios en los requerimientos de producción y agregar nuevos dispositivos a la red sin dificultades (Oliva et al., 2013).

Ethernet/IP

El protocolo Ethernet/IP se utiliza en sistemas de automatización y control industrial, permite la transferencia de datos a través de una red Ethernet en tiempo real. Sus características incluyen la capacidad de soportar sistemas con alta velocidad y capacidad, la interoperabilidad con varios dispositivos y sistemas, y la facilidad de configuración y mantenimiento, como se muestra en la figura 4.

Figura 4

Ejemplo arquitectura Ethernet/IP



Nota: En el gráfico se puede observar las características de una arquitectura Ethernet/IP bajo la marca de Schneider Electric. Tomado de *Ethernet Industrial* por (Schneider Electric, 2019)

Entre de las ventajas de utilizar el protocolo Ethernet/IP se tiene:

- Amplia adopción en la industria: Ethernet/IP es uno de los protocolos más utilizados en entornos industriales, lo que facilita la integración de sistemas y dispositivos de diferentes fabricantes.
- Interoperabilidad: Al ser un protocolo abierto y estándar, Ethernet/IP permite la comunicación entre dispositivos de diferentes proveedores, lo que facilita la implementación de soluciones de automatización.
- Comunicación en tiempo real: Ethernet/IP ofrece mecanismos para la transmisión de datos en tiempo real, lo que es crucial para aplicaciones que requieren control y monitoreo en tiempo real, como el control de procesos industriales (Ramos y Santos, 2015)

Modbus TCP

El protocolo industrial Modbus TCP es un protocolo de comunicación utilizado ampliamente en sistemas de automatización y control industrial. Fue desarrollado originalmente por Modicon en 1979 y se ha convertido en uno de los protocolos más utilizados en la industria debido a su simplicidad y versatilidad.

Las características más relevantes del protocolo Modbus son:

- Es un protocolo de comunicaciones simple, fácil de implementar y configurar.
- Permite la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes y con diferentes interfaces de comunicación.
- Soporta diferentes modos de comunicación, como el Modo de Transmisión ASCII (caracteres) o el Modo de Transmisión RTU (binario).

- Puede emplear diferentes tipos de medios de comunicación, tales como RS-232, RS-485 o Ethernet (Ruiz et al., 2004)

Protocolo IIS

El protocolo IIS (*Internet Information Services*) es un conjunto de servicios y funciones de servidor web desarrollado por Microsoft para sistemas operativos Windows. Proporciona una plataforma sólida y escalable para alojar y administrar sitios web, aplicaciones web y servicios relacionados en entornos empresariales.

A continuación, se presentan algunos aspectos importantes del protocolo IIS:

- Servidor web: se encarga de procesar las solicitudes HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) y servir páginas web estáticas y dinámicas a los clientes.
- Características y servicios: alojamiento de sitios web, páginas dinámicas, seguridad, registro y monitoreo.
- Integración con tecnologías Microsoft: se puede integrar estrechamente con otras tecnologías y productos de Microsoft.
- Administración y configuración: IIS proporciona una interfaz gráfica de usuario llamada Administrador de Internet Information Services para administrar y configurar el servidor web (Stanek, 2015)

Medio físico de Ethernet

Ethernet es un estándar de comunicación de red ampliamente utilizado para transmitir datos en redes de área local (LAN). El medio físico de Ethernet se refiere al tipo de cable o medio de transmisión utilizado para transmitir las señales eléctricas u ópticas que llevan los datos a través de la red. A lo largo del tiempo, se han utilizado diferentes medios físicos para

implementar Ethernet. A continuación, se mencionan algunos de los medios físicos más comunes utilizados en Ethernet:

- Cable de par trenzado
- Fibra óptica
- Cable coaxial (Spurgeon & Zimmerman, 2014).

Sistema HMI

Un sistema HMI (*Human Machine Interface* o Interfaz Humano-Máquina) es un conjunto de herramientas de hardware y software que brindan información y control a los usuarios que interactúan con una máquina o proceso industrial. Sus características incluyen la capacidad de mostrar, monitorear y controlar información y procesos de desarrollo en tiempo real (Yves, 2009)

Metodología de Diseño de HMI

La metodología para el diseño de HMIs se refiere a la forma en que se diseñan las interfaces de usuario para los sistemas HMI, es decir, cómo las personas interactúan con las máquinas y los sistemas para realizar tareas. Para garantizar que los sistemas sean intuitivos, accesibles y fáciles de usar para las personas que los utilizan, el diseño de HMI es fundamental (Rodríguez J. , 2012).

En la figura 5 se sintetiza el modelo propuesto por la norma ISO 13407, la cual establece los requisitos para el diseño centrado en el usuario de sistemas interactivos.

Ventajas de los sistemas HMI

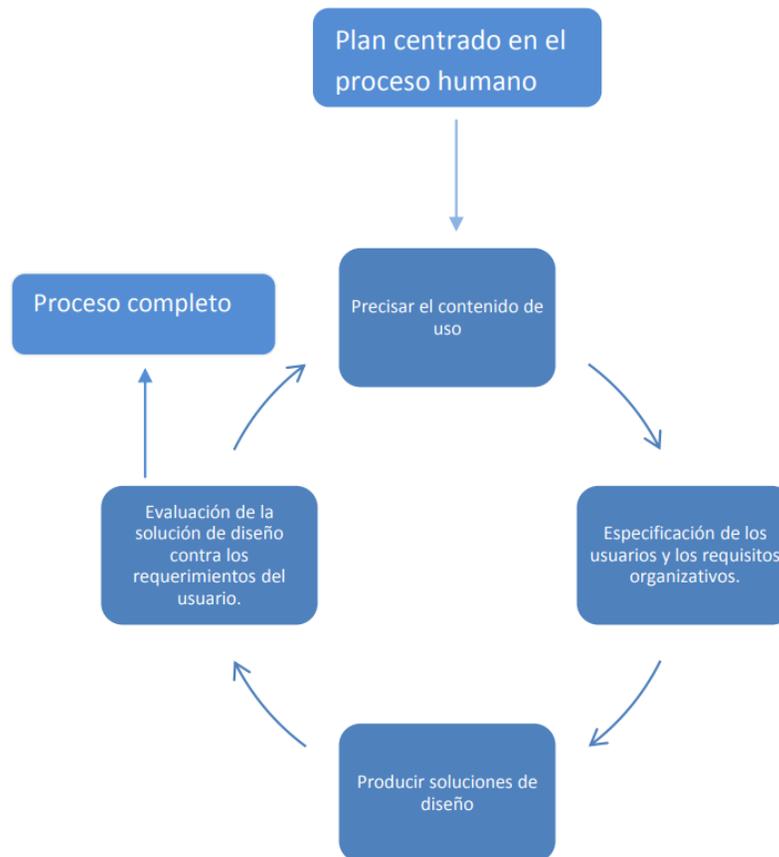
A continuación, se listan las ventajas de los sistemas HMI:

- Facilidad de uso: Las interfaces son más intuitivas y fáciles de usar, lo que reduce el tiempo necesario para aprender a usar las herramientas.

- Accesibilidad: Se puede acceder a la información y el control desde cualquier lugar, siempre y cuando haya una conexión de red disponible.
- Eficiencia: Los sistemas HMI proporcionan información en tiempo real, lo que ayuda a los operarios a tomar decisiones más rápidas y precisas.
- Fiabilidad: La mayoría de los sistemas HMI son altamente confiables y están diseñados para funcionar en situaciones críticas (Yves, 2009).

Figura 5

Modelo propuesto por la norma ISO 13407



Nota: Tomado de Representación modelo de sistemas interactivos centrados en humanos, por (UNE-EN ISO 13407, 1999)

Guía de Alto Desempeño (*High Performance*) para HMIs

La guía de alto desempeño para HMIs es una herramienta esencial para garantizar el éxito en el diseño y desarrollo de interfaces hombre-máquina (HMI) en diferentes aplicaciones. Esta guía proporciona un conjunto de mejores prácticas y directrices para diseñar HMI que sean fáciles de usar, eficientes y seguras.

La usabilidad es un aspecto importante del diseño de sistemas y aplicaciones, y la guía de alto desempeño se centra en garantizar que estos sean fáciles de usar y comprender para los operarios. La eficiencia es otro aspecto crucial y la guía se centra en garantizar que los sistemas y aplicaciones sean eficientes y permitan a los usuarios realizar tareas de manera rápida y efectiva. La seguridad es un componente crítico dentro de los procesos, especialmente en aplicaciones donde se manejan datos sensibles o se realizan tareas peligrosas (Bill et al., 2008)

Sistema SCADA

Un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) es una plataforma de software y hardware utilizada para monitorear y controlar sistemas industriales en tiempo real, proporcionando una interfaz de supervisión y control para los operadores. Esta herramienta les permite supervisar y controlar de forma remota diversos dispositivos y procesos en tiempo real (Rodríguez A. , 2012)

Características de un sistema SCADA

Las características principales de un sistema SCADA son:

- **Adquisición de datos:** Un sistema SCADA recopila datos en tiempo real de los dispositivos y sensores distribuidos en el sistema industrial. Estos datos pueden incluir información sobre el estado, la temperatura, la presión, el flujo, la velocidad, entre otros parámetros relevantes.

- **Control y supervisión:** Un sistema SCADA permite a los operadores supervisar y controlar de manera remota los dispositivos y procesos. Pueden visualizar información en tiempo real, recibir alarmas y notificaciones, ajustar parámetros de control y ejecutar comandos de control.
- **Interfaz gráfica de usuario:** Los sistemas SCADA proporcionan una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva que muestra la información en tiempo real en forma de gráficos, tablas y diagramas. Esto facilita la supervisión y el análisis de los datos del sistema.
- **Comunicación:** Los sistemas SCADA utilizan protocolos de comunicación estándar para recopilar datos de los dispositivos y enviar comandos de control. Pueden integrarse con una amplia gama de dispositivos y sistemas, lo que permite la supervisión y el control de sistemas complejos y distribuidos (Pérez, 2015)

Ventajas de un sistema SCADA

Las ventajas de utilizar un sistema SCADA son:

- **Monitoreo en tiempo real:** Los sistemas SCADA brindan una visión instantánea del estado del sistema, lo que permite a los operadores detectar problemas y tomar medidas correctivas de manera oportuna.
- **Control remoto:** Los sistemas SCADA permiten a los operadores supervisar y controlar los procesos industriales desde ubicaciones remotas, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce los costos de mano de obra.
- **Mejora de la productividad:** Al automatizar la supervisión y el control de los procesos, los sistemas SCADA pueden mejorar la productividad al reducir los errores humanos y optimizar la utilización de los recursos.
- **Toma de decisiones informada:** Los sistemas SCADA proporcionan información detallada y en tiempo real sobre el rendimiento del sistema, lo que ayuda a los

operadores y gerentes a tomar decisiones informadas y estratégicas (Benmessaoud et al., 2018)

Estándar ANSI/ISA-101.01.2015

La Sociedad Internacional de Automatización (ISA) y el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) crearon la norma ANSI/ISA 101, que se titula Interfaz gráfica de usuario basada en objetos para sistemas de automatización de procesos. Esta norma establece mejores prácticas para el diseño de interfaces gráficas de usuario (GUI) en sistemas de automatización de procesos industriales.

El objetivo de la norma ANSI/ISA 101 es crear interfaces gráficas que sean fáciles de entender, consistentes y fáciles de usar en entornos industriales. Una de las características claves de la norma es la adopción de un enfoque basado en objetos, esto quiere decir que los elementos gráficos utilizados en la interfaz sean reutilizables (ANSI/ISA-101, 2015)

Principios de Diseño

La norma ANSI/ISA 101 establece principios de diseño que incluyen:

- **Consistencia visual:** Se recomienda el uso de colores, formas y símbolos consistentes en la interfaz gráfica para facilitar la comprensión y el reconocimiento de los elementos.
- **Jerarquía visual:** La información y los elementos más importantes deben destacarse visualmente para que los operadores puedan identificar rápidamente los aspectos críticos del sistema.
- **Retroalimentación clara:** La interfaz debe proporcionar una retroalimentación visual clara y oportuna sobre las acciones realizadas por el operador y el estado actual del sistema.
- **Facilidad de navegación:** Se recomienda una navegación lógica y jerárquica dentro de la interfaz para facilitar la exploración y el acceso a la información relevante (ANSI/ISA-

101, 2015) en la Tabla 1 se observa un resumen de la jerarquía de pantallas basado en la ISA 101.

Tabla 1

Jerarquía de pantallas según ISA 101

Nivel de pantalla	Descripción	Consideraciones
1	Se visualiza un resumen de los valores más importantes del proceso, alarmas, condiciones de proceso, intercambio de información entre el operador y usuarios secundarios.	Vista general de los estados de operación de los equipos. Muestra tendencias, alertas, información adicional de sistemas aguas arriba y abajo.
2	Contienen más detalles que las pantallas de nivel 1, se consideran de proceso de alto nivel donde el operador realiza cambios de rutina y monitoreo.	Vista general de la unidad de proceso. Alarmas de prioridad alta y media específicas.
3	Pantallas no rutinarias, donde se realizan cambios complejos, se cuenta con más información que en las pantallas de nivel 2.	Muestra lazos de control e indicadores de los equipos. Muestra todas las alarmas y estados de los accionamientos para el equipo presentado.
4	Pantallas de diagnóstico, se permite o no el control del sistema y se muestran como pantallas emergentes o externas.	Procedimientos operativos individuales para equipos. Información de accionamientos.

Nota: Adaptado del Estándar ANSI/ISA-101-2015 por (ANSI/ISA-101, 2015)

Conexiones Industriales

En la automatización industrial, las tecnologías de conexión desempeñan un papel crucial en el establecimiento de conexiones confiables y eficientes entre los diversos dispositivos y componentes. Estas tecnologías permiten la transmisión de datos, señales de control y energía, lo que contribuye a mejorar la eficiencia, la productividad y la seguridad en los procesos industriales.

Conexión a módulo Telefast

La conexión a módulo Telefast es una tecnología ampliamente utilizada en la automatización industrial para hacer que la instalación y el mantenimiento de los sistemas de control sean más fáciles y más rápidos. El sistema de conexión modular Telefast elimina la necesidad de cableado punto a punto y permite la conexión rápida y segura (Schneider Electric, 2023).

Ventajas de la conexión a módulo Telefast

La conexión a Telefast ofrece diversas ventajas en la automatización industrial:

- Permite una conexión rápida y sin errores, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la productividad.
- Facilita la expansión y reconfiguración de los sistemas, lo que es especialmente beneficioso en entornos de producción que requieren cambios frecuentes.

Equipos e Interfaces

En un proceso industrial, los equipos e interfaces desempeñan un papel fundamental en la automatización y control de las operaciones. Estos equipos e interfaces permiten la interacción entre los operadores y el sistema, así como la supervisión y control de los procesos industriales.

Estación de Operación

La estación de operación es un componente fundamental en los procesos industriales, ya que es el lugar donde se controla y monitorea el funcionamiento de las máquinas y equipos utilizados.

En la estación de operación, el personal encargado debe tener conocimientos técnicos y habilidades necesarias para realizar la supervisión, el control y la regulación de los procesos industriales. Es importante que los operadores estén debidamente capacitados en los equipos y procesos que se llevan a cabo, de manera que puedan detectar cualquier problema en los sistemas y realizar las correcciones necesarias (García, 2009)

Montaje de Equipos en un Tablero de Control

Para el montaje de equipos en el tablero de control, se deben seguir ciertos pasos y consideraciones importantes.

- Seleccionar los equipos adecuados para el proceso industrial y verificar que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.
- Diseñar el tablero de control de acuerdo con las normas NEMA e IEC y estándares aplicables, considerando la seguridad, la accesibilidad y la facilidad de mantenimiento.
- Realizar una correcta identificación, etiquetado de los equipos y cables para facilitar su identificación y mantenimiento.
- Realizar una correcta conexión y cableado de los equipos, siguiendo las instrucciones del fabricante y evitando errores comunes como la inversión de polaridad o la conexión de cables incorrectos.
- Realizar pruebas de funcionamiento y verificación de los equipos antes de poner en marcha el proceso industrial (Sánchez, 2012)

Capítulo III. DISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SCADA DE LA EMPRESA IANCEM

El proceso de molienda es una parte fundamental para la producción de azúcar y sus derivados. El proyecto está enfocado al diseño y repotenciación del sistema de Control y SCADA de los molinos Dedini del IANCEM.

La caña de azúcar es sembrada y cultivada en la provincia de Imbabura, en el sector de Tababuela, esta zona es ideal para el cultivo debido a su clima húmedo-cálido. Antes de ser cosechada la caña pasa por un proceso de quemado para eliminar las hojas, las partes superiores de la planta y eliminar la humedad o agua superficial, lo que reduce la cantidad de material vegetal no deseado para ser comprado al peso por la empresa IANCEM. La caña es transportada desde el campo en camiones, ingresa al área de pesaje y se muestrea con un tractor sonda para determinar sus características de calidad. Luego se descarga a la mesa de molienda con una grúa, parte de esta caña también es apilada cerca a la mesa alimentadora.

La caña es enjuagada por un chorro constante de agua mientras ingresa por la mesa alimentadora hasta caer a una banda metálica que arrastra la caña hasta una cuchilla, desfibrador y esparcidor industriales donde se cortan los tallos y los convierten en astillas para facilitar la extracción de jugo al momento de pasar por los molinos, minimizando las pérdidas de sacarosa en el bagazo. La extracción del jugo se realiza por cinco molinos, el jugo que se extrae en el primer molino se lo llama jugo de primera extracción y el jugo que sale del último molino se llama jugo residual. En el último molino se agrega agua del tanque de imbibición, el cual es circulado contra corriente con el fin de extraer la mayor cantidad de sacarosa. El bagazo final es almacenado y utilizado para generar energía eléctrica (Ingenio Azucarero del Norte, 2019).

El proceso de molienda cuenta con un promedio de 50 actuadores entre bombas, motores y válvulas de gran potencia y robustez como se muestra en la Figura 6, particularmente los equipos eléctricos como motores son operados a 440 Vac / 60 Hz con potencias de entre 5 a 200 HP, también cuenta con varios sensores de campo, transductores, guarda motores, variadores de velocidad y demás elementos eléctricos que son controlados por un PLC.

La cabina de control se encuentra en una zona alta y cercana al proceso de molienda, desde aquí el operador (persona con conocimientos del proceso de molienda y conocimientos técnicos en electrónica y electricidad) puede visualizar todos los detalles que se llevan a cabo.

Figura 6

Vista del proceso de molienda desde la cabina de control



En la Figura 7 se puede observar que la cabina cuenta con dos tableros de control denominados CLP 1 y CLP 2 donde se ubican el controlador PLC Premium y el módulo

Advantys respectivamente con los cableados de control y de red. En las puertas de ambos tableros se dispone de display's donde se muestra los valores de corriente y rpm de los motores principales además del HMI donde se realiza la operación en el modo manual o mantenimiento. Se dispone también de un PC servidor del SCADA y cuatro monitores, uno de ellos es utilizado para el SCADA y los otros para la visualización mediante cámaras de seguridad del proceso.

Figura 7

Componentes de la cabina de control



Los operadores son los encargados de mantener el control de los parámetros de corriente, debido a las siguientes razones principales:

- **Eficiencia energética:** Controlar la corriente eléctrica permite optimizar el consumo de energía en el proceso de molienda. Mantener una corriente eléctrica adecuada evita fluctuaciones y desperdicios energéticos, lo que se traduce en una operación más eficiente y costos de energía reducidos.

- **Protección de equipos:** La corriente eléctrica excesiva puede dañar los equipos involucrados en el proceso de molienda, como motores, variadores, conductores eléctricos y dispositivos de protección. Controlar la corriente eléctrica dentro de los límites seguros ayuda a prevenir sobrecargas y fallas en los equipos, prolongando su vida útil y minimizando el tiempo de inactividad debido a reparaciones o reemplazos.
- **Calidad de la molienda:** La corriente eléctrica controlada contribuye a mantener una molienda consistente y de alta calidad. Un control preciso de la corriente eléctrica en los motores de los equipos de molienda garantiza una velocidad de operación óptima, lo que a su vez influye en la granulometría y la uniformidad del producto final (azúcar).
- **Seguridad:** Controlar la corriente eléctrica también es esencial para garantizar la seguridad de los trabajadores y del proceso en general. Una corriente eléctrica incontrolada puede generar situaciones de riesgo, como sobrecalentamiento, chispas o cortocircuitos, que pueden resultar en accidentes graves, incendios o interrupciones en la producción.

En el presente capítulo se desarrolla el diseño y repotenciación del sistema de Control y SCADA de los molinos Dedini de la empresa IANCEM. Es importante actualizarlos para mejorar la eficiencia de los procesos de producción, reducir el tiempo de inactividad, garantizar la seguridad de los datos, y lograr una mayor flexibilidad y escalabilidad. En las modernizaciones se toman en cuenta la actualización de hardware, de software y la adición de nuevas funcionalidades que permitan el monitoreo y control directo con el programa del PLC. Además, un sistema SCADA actualizado ayuda a los operadores a tomar decisiones más rápidas y eficientes reduciendo el riesgo de errores humanos en la producción.

Arquitectura de Red antes de la actualización

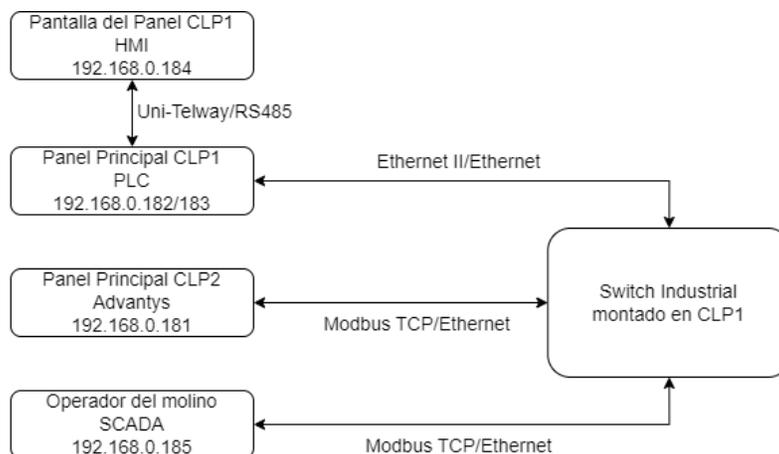
La empresa IANCEM actualmente cuenta con equipos de la marca Schneider Electric, un controlador principal Premium el cual ya tiene una trayectoria de más de 20 años en el mercado, debido al estado legacy y la falta de soporte en cuanto a repuestos por parte del fabricante es necesario actualizarlo.

El protocolo de comunicación que utiliza actualmente el PLC Premium es Ethernet II, el cual opera en la capa de enlace de datos según el modelo OSI y utiliza la tecnología de Ethernet como capa física. El controlador distribuido Advantys NIP2212 utiliza el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP bajo la capa física de Ethernet. La pantalla HMI se comunica con el PLC Premium bajo el protocolo Uni-Telway, este es propio de Schneider Electric, se basa en una transmisión Serial Link con un tipo semidúplex y utiliza el estándar RS485 de dos hilos como medio físico. El sistema SCADA utiliza el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP bajo el medio físico de Ethernet.

En la Figura 8 se muestra la arquitectura resumida en un diagrama de bloques y sus características antes explicadas.

Figura 8

Arquitectura de red antes de la actualización

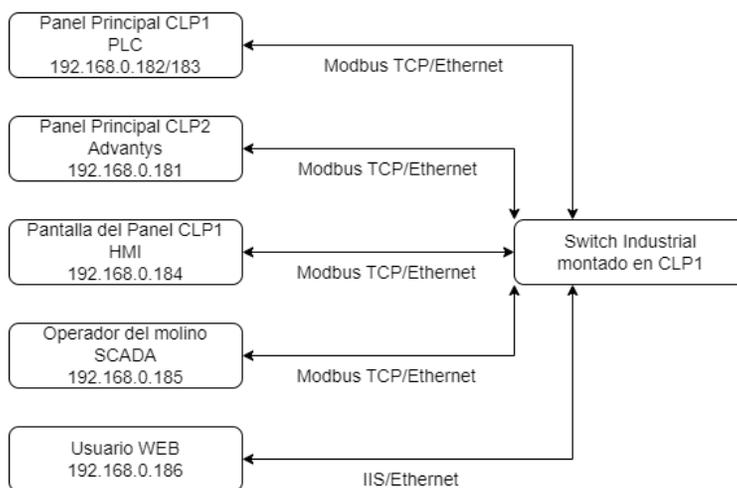


Arquitectura de Red actualizada

En la nueva arquitectura de red como se muestra en la Figura 9, los equipos se comunicaron bajo el protocolo Modbus TCP/IP, salvo el usuario web que necesita otro protocolo de comunicación, debido a la interoperabilidad que existe entre AVEVA Edge y los servidores web.

Figura 9

Arquitectura de red actualizada



Al comunicar equipos bajo el mismo protocolo de Modbus TCP/IP, se obtienen varias ventajas, entre ellas:

- **Interoperabilidad:** Al tener un protocolo común, los dispositivos de diferentes fabricantes pueden comunicarse y trabajar juntos sin problemas, lo que permite la interoperabilidad entre ellos.
- **Reducción de costos:** Al utilizar un protocolo común, se reducen significativamente los costos asociados con la integración, ya que no es necesario comprar y utilizar interfaces especializadas para la conexión de diferentes dispositivos.

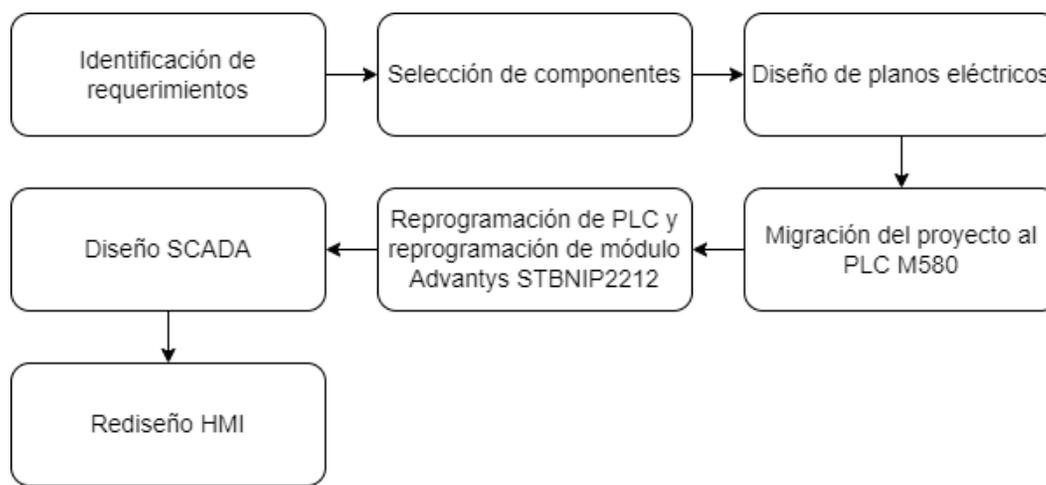
- Mayor eficiencia: Al trabajar bajo un mismo protocolo, se facilita la comunicación entre los dispositivos conectados y se reducen los errores de comunicación, lo que aumenta la eficiencia y la productividad.
- Rendimiento: Modbus TCP/IP está diseñado para una comunicación eficiente y de alto rendimiento. Utiliza la tecnología Ethernet, que ofrece velocidades de transferencia de datos rápidas y una amplia capacidad de ancho de banda. Esto permite una transmisión de datos rápida y confiable entre los dispositivos, lo que es esencial para aplicaciones en tiempo real.
- Escalabilidad: Una red basada en Modbus TCP/IP es escalable y puede adaptarse fácilmente a los cambios y actualizaciones necesarias en el sistema.

Diagrama de bloques del procedimiento de diseño

En la Figura 10 se muestra la secuencia de trabajo en el diseño de la repotenciación del proceso molienda. El desarrollo consta de cambios en hardware y software, por lo que se analiza el estado actual del sistema y se identifica las actualizaciones que deben realizarse.

Figura 10

Diagrama de bloques del procedimiento de diseño



Identificación de equipos actuales y requisitos de los sistemas de Control y SCADA

En una primera inspección en la planta de producción se realizó la identificación de los controladores que intervienen en el sistema de control industrial y se identificó cuales requieren ser actualizados, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Identificación de equipos actuales

Cantidad	Elementos	Cantidad I/O	Actualización
Módulo Advantys STB NIP2212 de Schneider Electric			
10	Módulo STB DDI 3725 Entradas digitales Tensión: 24Vcc Canales: 16 Hilos por canal: 2 Protección: contra cortocircuitos	160	No
3	Módulo STB DDO 3705 Salidas digitales Tensión: 24Vcc Corriente: 0.5A Canales: 16 Protección: contra sobrecargas de corriente	48	No
5	Módulo STB ACI 0320 Entradas analógicas Tipo: Corriente Rango: 0-20mA, 4-20mA Canales: 4 Resolución: 15 bis + signo	20	No

Cantidad	Elementos	Cantidad I/O	Actualización
3	Módulo STB ACO 0220 Salidas analógicas Tipo: Corriente Rango: 4-20mA Canales: 2 Resolución: 15 bits + signo	6	No
PLC Premium PSX P57 de Schneider Electric			
2	Módulo TSX DEY 16D2 Entradas digitales Tensión: 24Vcc Canales: 16 Lógica: positiva	32	Si
2	Módulo TSX DEY 16T2 Salidas digitales Tensión: transistor de 24Vcc Corriente: 0,5 A Canales: 16 Lógica: positiva	32	Si
1	Módulo TSX AEY 1600 Entradas analógicas Tipo: Tensión y Corriente Rango: +- 10V, 0-10V, 0-5V, 1-5V, 0-20mA, 4-20mA Canales: 16 Resolución: 12 bis	16	Si

Cantidad	Elementos	Cantidad I/O	Actualización
2	Módulo TSX AEY 800 Entradas analógicas Tipo: Tensión y Corriente Rango: +- 10V, 0-10V, 0-5V, 1-5V, 0-20mA, 4-20mA Canales: 8 Resolución: 12 bis	16	Si
2	Módulo TSX ASY 800 Salidas analógicas Tipo: Tensión y Corriente Rango: +- 10V, 0-20mA, 4-20mA Canales: 8 Resolución: 13 bis + signo tensión, 13 bits corriente	16	Si
Pantalla HMI S5T de Schneider Electric			
1	HMI S5T de Schneider Electric Tipo: táctil resistiva Tamaño: 5.6 pulgadas Resolución: 320x234 píxeles Comunicación: Ethernet y RS485	-	Si, solo comunicación e interfaz
CPU del SCADA			
1	SCADA licenciado con Indusoft de 1500 tags PC: 4 RAM, 512GB ROM HDD, Core i3 5ta gen, Windows 7	-	Si

Los equipos en estado Legacy identificados son el PLC Premium PSX P57 con su hardware y SCADA bajo el software Indusoft. Estos deben ser actualizados para tener soporte técnico, mejorar la eficiencia y productividad del proceso de molienda.

Se identificaron las variables de E/S del PLC y Advantys para dimensionar el nuevo PLC y realizar la reprogramación de ambos. En el Apéndice A se muestra de manera amplia como se encuentran direccionadas y nombradas las distintas variables de los módulos de E/S.

Los requerimientos determinados por parte de la empresa IANCEM, con respecto al sistema de Control y SCADA se establecen a continuación:

- Actualización de los equipos en estado Legacy.
- Contar con un controlador que se encuentre apto para trabajar en ambientes ruidosos, con temperaturas elevadas, con alto grado de protección, entre otros.
- Se requiere un PLC que sea capaz de comunicarse con el módulo Advantys STBNIP 2212 de una manera segura y alta velocidad en cuanto a transmisión de datos.
- Se necesita un PLC que se pueda comunicarse con los demás equipos bajo el protocolo Modbus TCP/IP.
- Se necesita que los módulos de comunicación de E/S sean compatibles con el controlador y que posea los puertos necesarios.
- Se requiere una PC que soporte el software de AVEVA Edge y Control Expert.
- Se necesita levantar un cliente web para que pueda monitorear el proceso de molienda desde otro punto, en este caso en la oficina del jefe eléctrico.
- Se necesita rediseñar la pantalla HMI para que sea de ayuda para el operador al momento de operar la molienda.

Selección de componentes

Schneider Electric es una empresa que cada vez se expande más en el área de productos, servicios y soluciones en el mercado eléctrico y de automatización. En el año 2023 en el mes de enero, Schneider Electric adquirió todas las acciones sobre AVEVA, por lo que se presenta varias ventajas como la mejora de la toma de decisiones, mejora la eficiencia energética, mayor seguridad cibernética entre otras.

Dado que la empresa IANCEM por políticas empresariales usa para sus sistemas eléctricos y de control equipos de Schneider Electric, debido a que cuenta con varias ventajas en cuanto a programas de última tecnología y formas de integración, la empresa muestra su necesidad de continuar bajo la misma para mantenerse a la vanguardia industrial. Se ha argumentado la selección bajo los siguientes aspectos:

- **Compatibilidad:** Debido a que actualmente en el proceso de molienda se utiliza el controlador modelo Premium PSX P57 de la marca Schneider, existe compatibilidad con el Modicon M580 y satisface los puntos mencionados en los requerimientos de la empresa.
- **Escalabilidad:** La lógica de programación al migrar se puede conservar en un 60% y bajo la plataforma de EcoStruxure Control Expert se puede realizar los cambios en los distintos lenguajes de programación (FBD, ST, LD).
- **Economía:** La empresa IANCEM cada vez unifica sus equipos bajo la marca Schneider Electric, por lo que adquirir un controlador de otra marca implicaría entrar en un mayor costo, debido a que no solo se actualizaría el controlador sino todo el equipamiento.
- **Productividad:** Al actualizar el controlador se tiene un procesamiento más rápido y mayor capacidad de memoria, por lo que resulta manejar proyectos de mayor exigencia.

- Seguridad: Mejorar los protocolos de seguridad como el cifrado de datos y la autenticación de dispositivos.

El controlador Modicon M580 ofrece varias características y capacidades que lo hacen adecuado para una amplia gama de aplicaciones industriales, a continuación, se da a conocer las características técnicas principales:

- Posee una alta velocidad de procesamiento gracias a su procesador de doble núcleo a 1,2 GHz y 4 GB de memoria.
- Admite una amplia gama de protocolos de comunicación, incluidos Ethernet/IP, Modbus TCP/IP y Profinet.
- Ofrece una alta disponibilidad gracias a su arquitectura de redundancia integrada, y la función de hot standby que permite una rápida recuperación en caso de fallos.
- Ofrece una amplia variedad de módulos de entradas/salidas para adaptarse a diferentes necesidades de entrada/salida, incluyendo módulos de alta velocidad y módulos analógicos.
- Dispone de una amplia variedad de opciones de programación, incluyendo programación en lenguaje de alto nivel (IEC 61131-3) y programación de bloques de función (FBD), lo que lo hace fácilmente adaptable a diferentes necesidades de programación.

El software que se utilizará es EcoStruxure Control Expert el cual permite programar, simular y diagnosticar los PLCs de manera eficiente y sencilla para los procesos de control, realización de mantenimientos, pruebas y detección de errores; optimizando los procesos de automatización y mejorando la producción. Además, el software ofrece una amplia variedad de funciones y herramientas para la resolución de problemas, incluyendo la visualización en tiempo real de los procesos, el monitoreo remoto y la simulación de escenarios, entre otras.

El sistema SCADA antiguo fue realizado en el software de Indusoft Web Studio, el cual después fue adquirido por AVEVA, por ende, el nuevo sistema SCADA se desarrolló en el software de AVEVA Edge 2020 porque ofrece una mejor integración con otros productos tanto de AVEVA y de Schneider Electric. A continuación, se presenta las características principales de AVEVA Edge:

- Es un software HMI / SCADA potente y fácil de usar para PC, paneles industriales, dispositivos integrados y más.
- Admite la interfaz de usuario, las comunicaciones de dispositivos de campo, la gestión y el control de datos en tiempo real, así como el acceso remoto y la ciberseguridad.
- El software también ofrece capacidades avanzadas de análisis e informes para ayudar con la toma de decisiones y la gestión de procesos industriales.
- AVEVA Edge 2020 ofrece conectividad con otros software y sistemas industriales, incluidos los sistemas de gestión de activos y planificación de recursos empresariales (ERP).
- Cliente web HTML5.

Caracterización de equipos y software para el Sistema de Control

El uso de equipos y software actualizados cuando se repotencia un sistema de control permite mejorar el rendimiento, las funcionalidades avanzadas, la interoperabilidad, la mantenibilidad y el soporte adecuado, así como el cumplimiento de las normas. Esto mejora la productividad, la seguridad y la confiabilidad del sistema de control al optimizar su funcionamiento y resultados.

Controlador Lógico Programable PLC Modicon M580 BMEP582020

El PLC Modicon M580 es un controlador lógico programable (PLC) de alto rendimiento diseñado para aplicaciones industriales críticas en una amplia gama de industrias, que incluyen

energía, petróleo, gas, alimentos y bebidas y fabricación en general como se muestra en la Figura 11. Técnicamente hablando, el M580 puede gestionar hasta 3.200 entradas y salidas, tiene una velocidad de procesamiento de hasta 100.000 instrucciones por segundo y cuenta con un amplio soporte para protocolos de comunicación industrial como Ethernet/IP y Modbus TCP (Schneider Electric, 2023).

Figura 11

PLC Schneider Modicon M580 BMEP582020



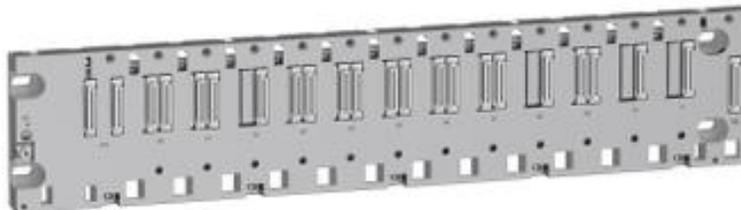
Nota. Adaptado de Modicon M580, por (Schneider Electric, 2023)

Rack de 12 posiciones BMEXBP1200

El Rack de 12 posiciones con tecnología X80 de Schneider Electric es un componente que permite el montaje e integración de diversos equipos de red como switches, servidores y almacenamiento como se observa en la Figura 12. Este rack ha sido diseñado para maximizar la densidad y la eficiencia energética, lo que permite aumentar la capacidad de procesamiento de los equipos y reducir el costo operativo (Schneider Electric, 2023).

Figura 12

Rack de 12 posiciones BMEXBP1200



Nota. Adaptado de *Modicon M580*, por (Schneider Electric, 2023)

Fuente de alimentación BMXCPS3500

La fuente de alimentación BMXCPS3500 de Schneider Electric es un componente esencial en sistemas de automatización industrial y en soluciones de controladores de automatización M340 y M580 como se observa en la Figura 13, proporciona una fuente de corriente continua confiable, segura y eficiente (Schneider Electric, 2023)

Figura 13

Fuente de alimentación BMXCPS3500



Nota. Adaptado de *Módulo de alimentación M340 – M580 – 36W*, por (Schneider Electric, 2023)

Módulo de 8 entradas analógicas BMXAMI0810

El módulo BMXAMI0810 es un dispositivo de E/S analógico de alta precisión utilizado en sistemas de automatización y control industrial, como se muestra en la Figura 14. Este módulo

permite la medición de señales analógicas en formato de corriente y voltaje, así como la generación de señales analógicas de salida en ambos formatos (Schneider Electric, 2023).

Figura 14

Módulo de 8 entradas analógicas BMXAMI0810



Nota. Adaptado de *Módulo BMXAMI0810*, por (Schneider Electric, 2023)

Accesorio conector telefast BMXFTA150

El conector telefast BMXFTA150 es un conector utilizado comúnmente en la construcción de los sistemas de automatización y de control de dispositivos, particularmente en los dispositivos de E/S remotos de la serie Modicon de Schneider Electric, el cual se muestra en la Figura 15. Este conector tiene un diseño compacto y modular que permite una fácil instalación y montaje sin herramientas especiales (Schneider Electric, 2023)

Figura 15

Conector telefast BMXFTA150



Nota. Adaptado de *conector telefast BMXFTA150*, por (Schneider Electric, 2023)

Módulo de 8 salidas analógicas BMXAMO0802

El módulo de salidas BMXAMO0802 es un componente utilizado en sistemas de automatización y control industrial para la generación de señales analógicas de salida. Este módulo es compatible con la serie Modicon M340 y M580 de Schneider Electric, y cuenta con 8 canales de salida como se muestra en la Figura 16, que pueden controlar diferentes tipos de dispositivos, como contactores, válvulas, motores y luces (Schneider Electric, 2023)

Figura 16

Módulo de salida analógica BMXAMO0802



Nota. Adaptado de Módulo de salida analógica BMXAMO0802, por (Schneider Electric, 2023)

Accesorio conector telefast BMXFTA152

El conector telefast BMXFTA152 es un conector de fibra óptica desarrollado por Schneider Electric para su serie de dispositivos M340 y M580, como se puede observar en la Figura 17. Es un conector de tipo SC con estructura de enclavamiento que lo hace sencillo de instalar. El conector telefast BMXFTA152 es adecuado para su uso en una amplia gama de entornos industriales exigentes porque es resistente a los impactos, polvo, humedad y puede soportar altas temperaturas (Schneider Electric, 2023)

Figura 17*Conector telefast BMXFTA152*

Nota. Adaptado de *Bornero 20P*, conector telefast BMXFTA152 1.5 m, por (Schneider Electric, 2023)

Módulo de 16 entradas digitales BMXDDI1602

El módulo de 16 entradas digitales BMXDDI1602 es un dispositivo de adquisición y procesamiento de señales digitales de Schneider Electric, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18*Módulo de entradas digitales BMXDDI1602*

Nota. Adaptado de *Módulo de entradas digitales BMXDDI1602*, por (Schneider Electric, 2023)

Este módulo posee 16 canales de entrada aislados que permiten al operador conectar sensores y monitorear su estado. Además, el BMXDDI1602 cuenta con una interfaz de comunicación Modbus que permite su conexión a otros dispositivos de la familia M340 o M580.

Este módulo cuenta con protección contra sobretensiones y cortocircuitos, haciéndolo apto para trabajar idealmente en ambientes industriales exigentes (Schneider Electric, 2023)

Accesorio terminal a tornillo BMXFTB2010

Figura 19

Accesorio terminal a tornillo BMXFTB2010



Nota. Adaptado de *Terminal a tornillo de 20 puntos*, por (Schneider Electric, 2023)

El Accesorio terminal a tornillo BMXFTB2010 es un bloque de terminales producido por Schneider Electric para su uso en aplicaciones industriales, como se muestra en la Figura 19. Cada bloque cuenta con un rango de 20 terminales, lo que permite conectar señales en una amplia variedad de aplicaciones (Schneider Electric, 2023)

Módulo de 16 salidas digitales BMXDDO1602

El BMXDDO1602 ofrece 16 salidas digitales aisladas galvánicamente como se muestra en la Figura 20, lo que significa que cada salida tiene su propio aislamiento eléctrico para evitar interferencias y proteger tanto el módulo como los dispositivos conectados a él. El módulo se comunica con el controlador PLC a través de un bus de comunicación, como el bus Modbus o el bus Ethernet, esto permite al controlador enviar comandos al módulo para activar o desactivar las salidas digitales según sea necesario (Schneider Electric, 2023)

Figura 20

Módulo de salidas digitales BMXDDO1602



Nota. Adaptado de *Módulo de salidas digitales BMXDDO1602*, por (Schneider Electric, 2023)

Cable USB industrial BMXXCAUSBH018

El cable USB industrial BMXXCAUSBH018 es un cable de comunicación robusto y resistente diseñado específicamente para entornos industriales y aplicaciones en sistemas de automatización. Este cable es parte de la gama de productos de Schneider Electric, y se utiliza para establecer una conexión confiable entre los dispositivos industriales y los sistemas de control, como los controladores lógicos programables (PLC) (Schneider Electric, 2023)

Figura 21

Cable USB industrial BMXXCAUSBH018



Nota. Adaptado de *Cable USB industrial*, por (Schneider Electric, 2023)

Puerto de enlace Ethernet EGX150

El puerto de enlace Ethernet EGX150 de Schneider Electric es un dispositivo de comunicación de datos, como se muestra en la Figura 22. Se utiliza para conectar y habilitar la comunicación entre varios dispositivos y sistemas en una red industrial (Schneider Electric, 2023)

Figura 22

Pasarela Ethernet EGX150



Nota. Adaptado de *Pasarela Ethernet EGX150*, por (Schneider Electric, 2023).

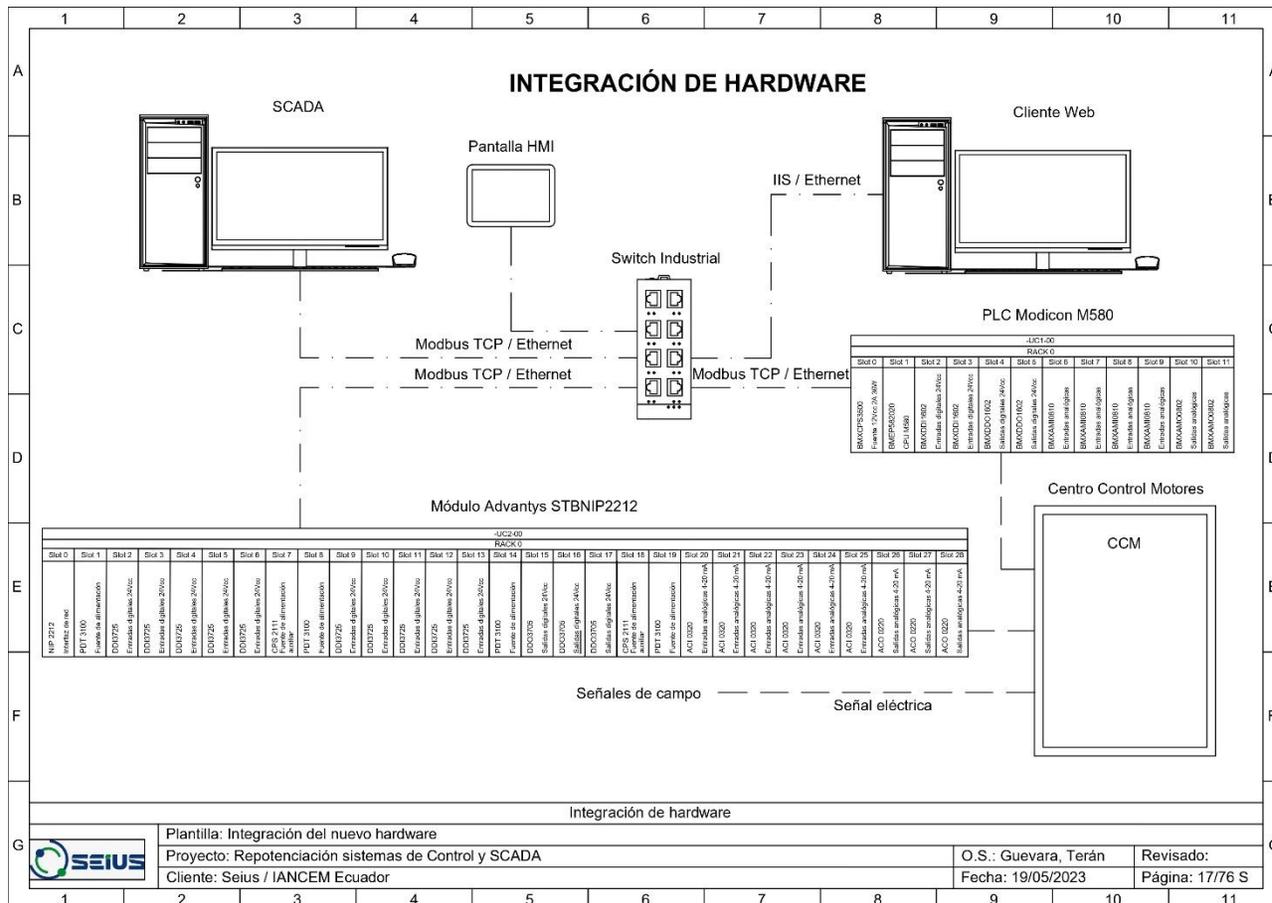
En el Apéndice B se indican las características técnicas impartidas por el fabricante de los equipos descritos anteriormente.

Integración del hardware

En la Figura 23 se puede observar de manera detallada la nueva integración de hardware del proceso de molienda, se cuenta principalmente con el controlador Modicon M580, el módulo Advantys STBNIP2212, el PC donde se aloja el SCADA y la pantalla HMI los cuales se comunican mediante el protocolo Modbus TCP/IP y utilizan el medio físico de Ethernet. El cliente web se comunica mediante el protocolo IIS y de la misma forma utiliza el medio físico de Ethernet. Las señales de entrada y salida del PLC M580 y módulo Advantys se comunican de manera bidireccional con el centro de control de motores.

Figura 23

Integración del hardware



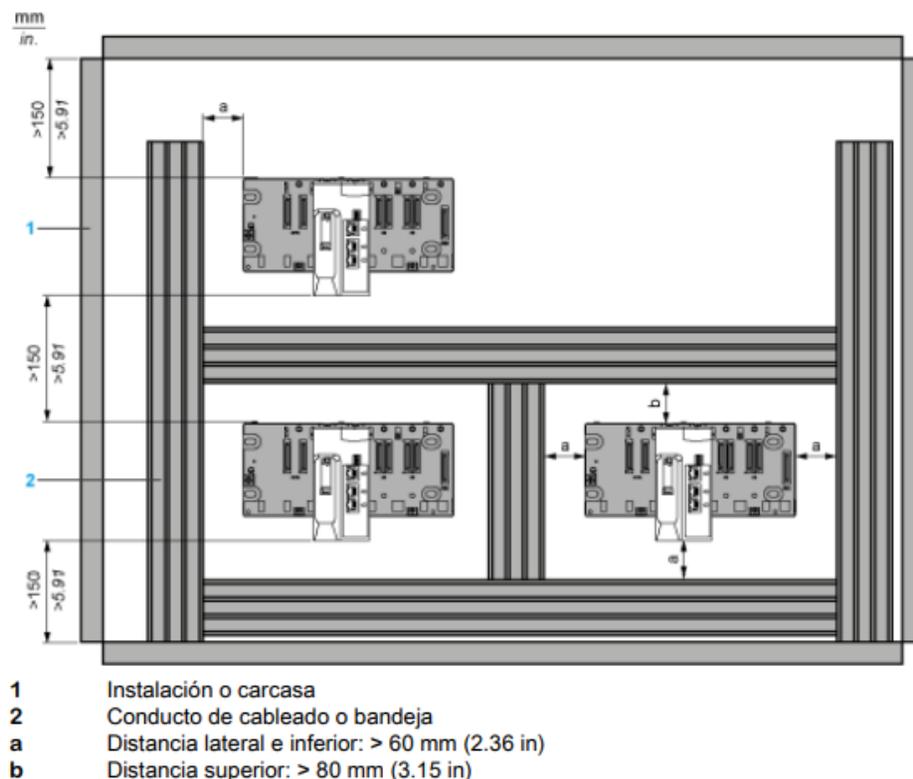
Etapa de diseño de la conexión del nuevo hardware

Se realizó una visita técnica a la empresa IANCEM para inspeccionar los diferentes aspectos relacionados con la infraestructura, equipos, detectar posibles problemas, para planificar los objetivos en la etapa de montaje e implementación de los sistemas. Con toda la información obtenida se realizó los planos eléctricos del tablero principal CLP 1, se tuvo en cuenta los parámetros que sugiere el fabricante, como se muestra en la Figura 24 basándose en las normas IEC 60364 e IEC 61850.

Figura 24

Parámetros que sugiere el fabricante para el montaje del hardware del PLC

Distancia mínima



Nota: Adaptado de rack BME XBP 1200, distancia mínima requerida para conexión, por (Schneider Electric, 2023)

Conexión del hardware del PLC

En la Figura 25 se puede observar el dimensionamiento del hardware para instalación del PLC Premium, se constata que se han respetado las distancias dictadas por las normas IEC. El hardware para instalación del PLC Modicon M580 tiene medidas muy semejantes al del PLC Premium, por ende, al momento de montar los nuevos equipos en la etapa de

implementación se respetará las distancias que dictan dichas normas. En el Apéndice F se muestra a detalle los planos del tablero CLP 1.

Figura 25

Dimensiones del hardware del PLC Premium TSX P57

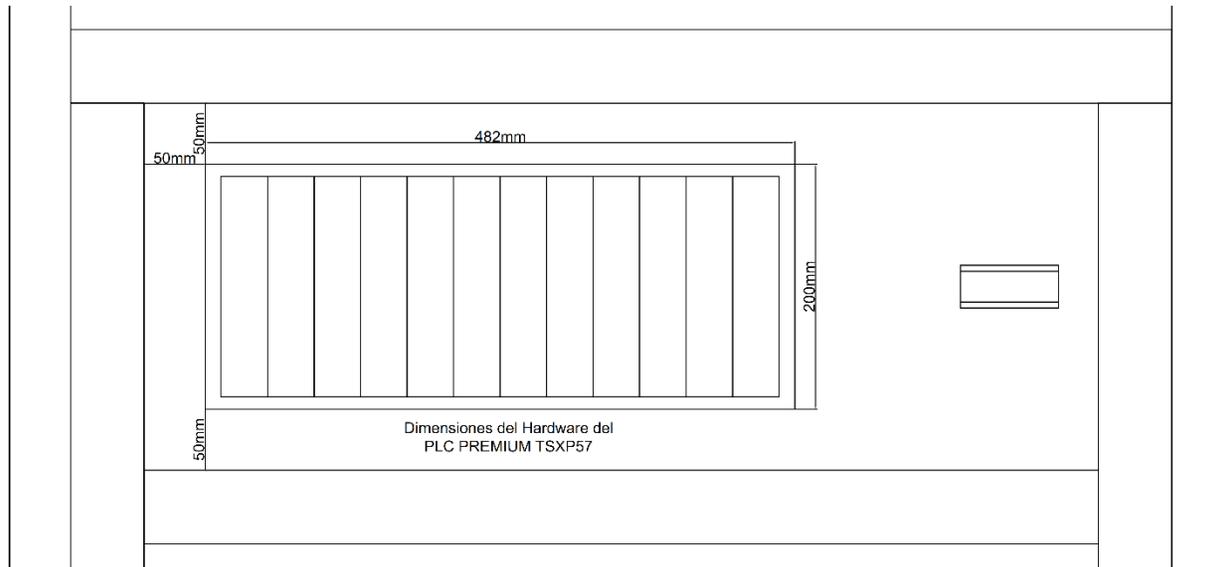
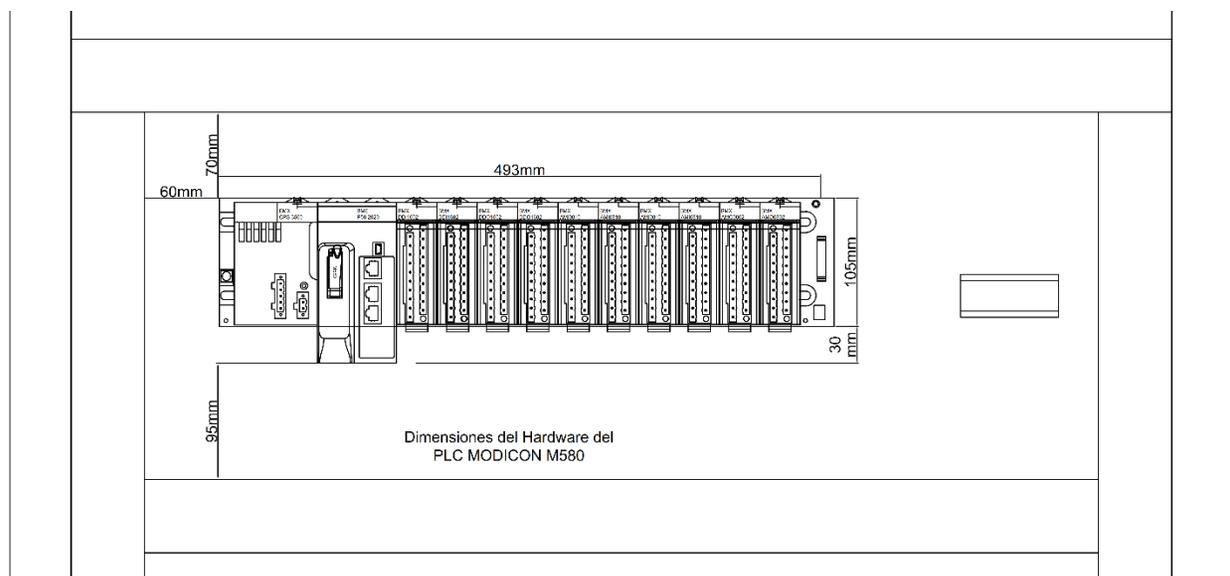


Figura 26

Dimensiones del hardware del PLC Modicon M580



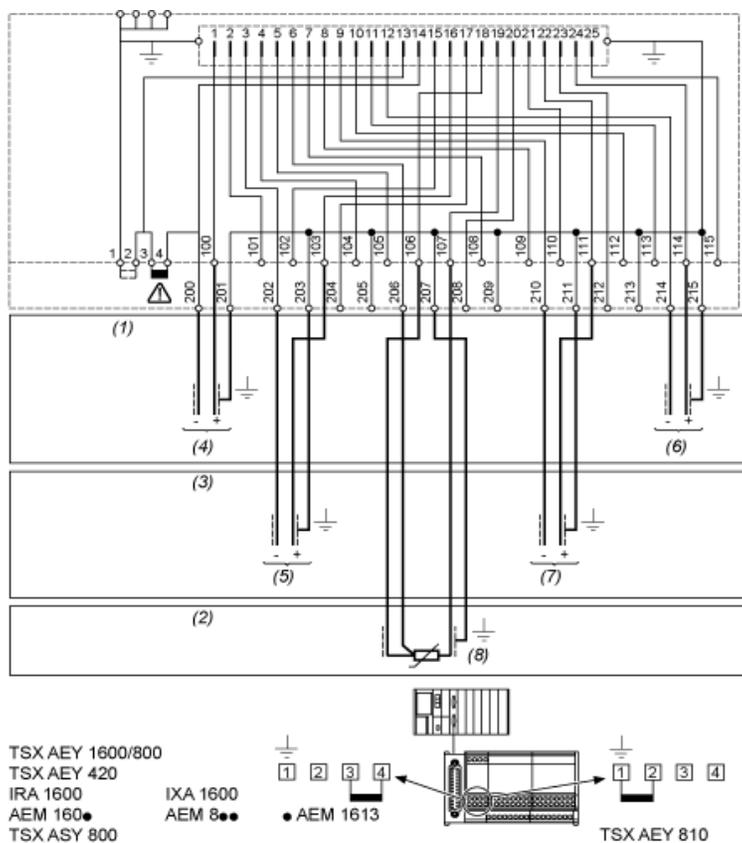
Conexión de los módulos Telefast

Se realizó un análisis en la conexión de los módulos Telefast, debido al tipo de conexión interna que tienen los nuevos módulos analógicos de entrada y salida descritos en este capítulo. El esquema de conexión de los módulos anteriores se explica en la Figura 27, fue importante reconocer las señales de voltaje y corriente que se tiene actualmente.

Para la conexión de los nuevos módulos analógicos de entradas BMXAMI0810 se realizó la conexión como se indica en la Figura 28 y para las conexiones de los módulos analógicos de salidas BMXAMO0802 se realizó la conexión como se indica en la Figura 29.

Figura 27

Esquema de conexión Telefast con módulos TSX

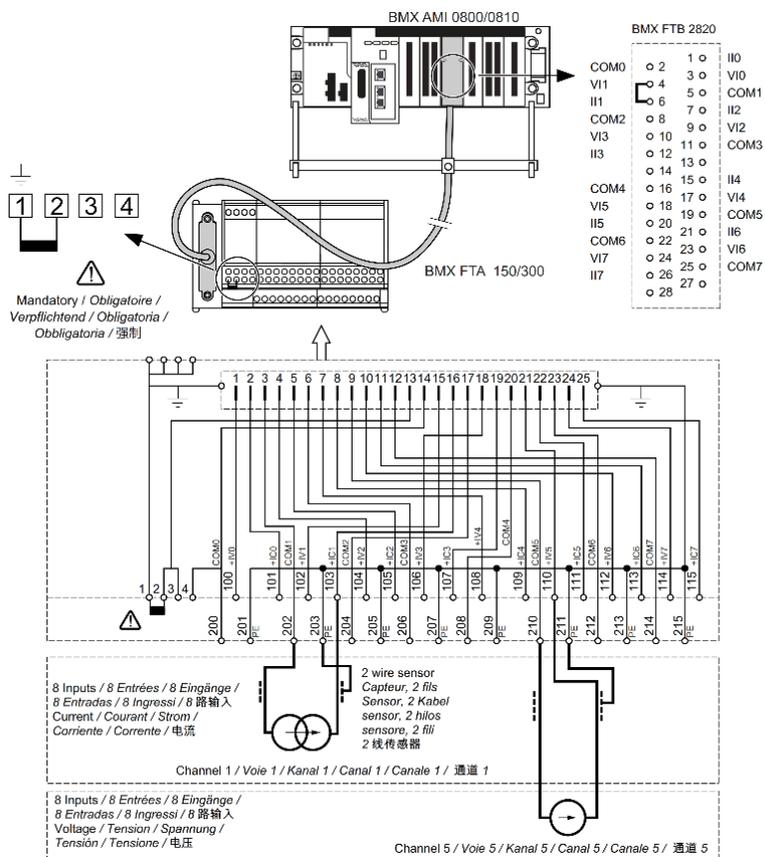


Nota. Adaptado de *Sub base de conexión ABE7*, por (Scheiner Electric, 2023)

- (1)8 tensión de entrada - 8 tensión de salida
- (2)8 sondas de entrada PT100
- (3)8 corriente de entrada - 8 corriente de salida
- (4)Canal a través de 1
- (5)Canal a través de 2
- (6)Canal a través de 8
- (7)Canal a través de 6
- (8)Canal a través de 4

Figura 28

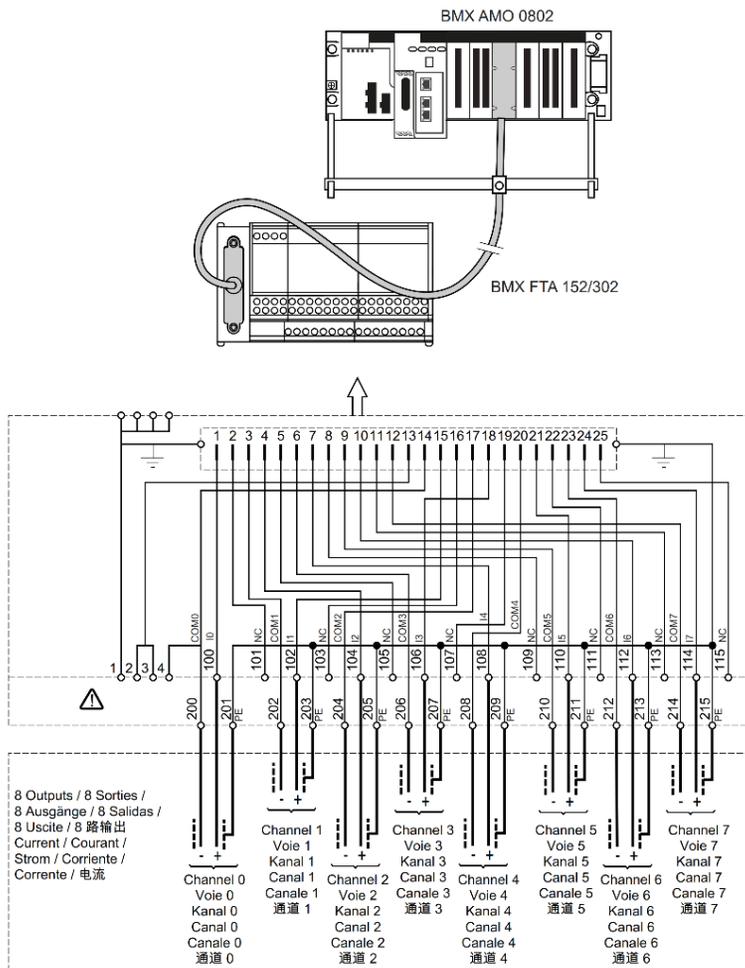
Esquema de conexión Telefast con módulos BMX AMI



Nota. Adaptado de Sub base de conexión ABE7, por (Scheiner Electric, 2023)

Figura 29

Esquema de conexión Telefast con módulos BMX AMO

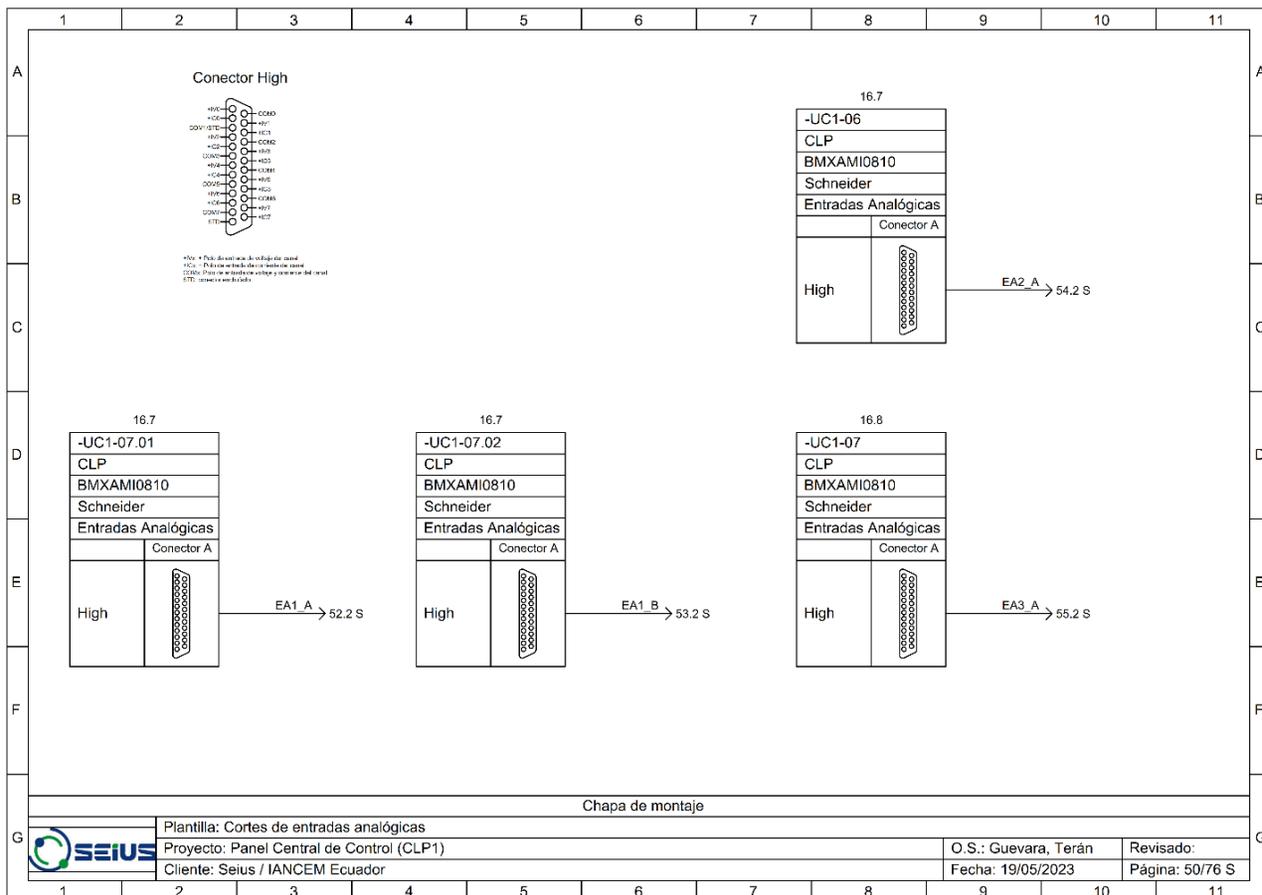


Nota. Adaptado de *Sub base de conexión ABE7*, por (Scheiner Electric, 2023)

El cambio de las conexiones entre los módulos Telefast y módulos E/S analógicos del PLC, se documentan estos cambios en los planos eléctricos, como por ejemplo el que se muestra en la Figura 30 y los demás planos eléctricos modificados se indican a detalle en el Apéndice E.

Figura 30

Plano eléctrico de conexiones Telefast



Requerimiento de hardware para SCADA

El requerimiento de hardware para AVEVA Edge Studio es considerablemente más sofisticado que para AVEVA Edge SCADA, en el primero es donde se diseñó todas las pantallas del SCADA, el manejo de la base de datos, imágenes, tags, acciones condicionadas y otros, por lo que se requiere gran capacidad de procesamiento; a diferencia del segundo que es el ejecutor o *runtime* de lo que se ha diseñado. En la Tabla 3 se establece los requerimientos mínimos de hardware.

Tabla 3*Requerimientos de hardware para SCADA*

Característica	Descripción
Memoria RAM	16 GB
Memoria ROM	512 GB SSD
Procesador	i7 11va generación
Alimentación	100-240 Vac, 50-60 Hz
Interface Ethernet	Puerto ethernet (10/100/1000Base-T)
Resolución grafica	1920x1080 pp
Sistema Operativo	Windows Server 2019 / Windows 10 Pro

Migración del proyecto al PLC Modicon M580

Previo a la migración al nuevo PLC Modicon M580 se realizó un análisis del sistema existente, planificación, compatibilidad, debido a que se tuvo que requerir cambios en el hardware y software. En el apartado de la identificación de requerimientos se realizó el análisis con lo que se cuenta actualmente, las necesidades de la empresa, se definió los objetivos a largo plazo y se llegó a la toma de decisión de compra de los nuevos equipos para realizar la migración del proyecto.

El PLC M580 cuenta con características más avanzadas en comparación con el PLC Premium, como mayor capacidad de procesamiento, mayor capacidad de memoria y mayor velocidad de comunicación, estas características resultan beneficiosas para mejorar la eficiencia y la productividad del sistema.

Unity M580 Application Converter

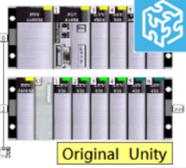
Para realizar la migración del programa original se utilizó el software de Unity M580 Application Converter (UMAC), esta herramienta desarrollada por Schneider Electric permite convertir la lógica de control en proyectos antiguos de PLC a un actual controlador de la misma o diferente familia.

En la Figura 31 se puede observar la guía de preparación que se debe realizar al programa original previo a la migración. En la Figura 32 se muestra la configuración realizada tomando en cuenta los pasos de la Figura 33, este archivo debe ser guardado en formato .zef para poder subirlo a la migración.

Una vez subido el programa en el formato .zef se procede a realizar la migración como se muestra en la Figura 33, esperado el tiempo de conversión se puede guardar el proyecto migrado, cabe recalcar que el proyecto migrado debe ser reprogramado.

Figura 31

Guía de ayuda para migrar el programa al PLC M580

1 - Seleccionar	2 - Preparar	3 - Analizar	4 - Convertir
			
<p>Prepara tu proyecto de Unity Premium para convertirlo a un proyecto de M580:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Abre el proyecto de Premium en Unity. 2. Incrementa el número de racks locales después del rack 0 (si existe). Si la configuración original solo contempla un rack, cambia el rack 0 a un rack ampliable. 3. Inserta el nuevo rack 1 después del rack 0. 4. Mantén la CPU Premium y los módulos de comunicaciones en el rack 0. Arrastra los módulos de alimentación del rack 0 al nuevo rack 1. Arrastra los módulos de E/S del rack 0 a cualquier ranura en el nuevo rack 1. 5. Analiza y crea el proyecto de Unity. 6. Exporta el proyecto de Unity en formato .zef (o .xef) para crear la aplicación de origen para la conversión. <p>Nota: Unity M580 limita el número de módulos de comunicación Ethernet compatibles en la configuración. Tu aplicación de origen podría superar ese número. Realiza los cambios apropiados en la aplicación de origen o destino en Unity Pro.</p>			

Nota: Adaptado de Preparación de UMAC para migración de PLC Premium a M580

Figura 32

Preparación del programa original para migración

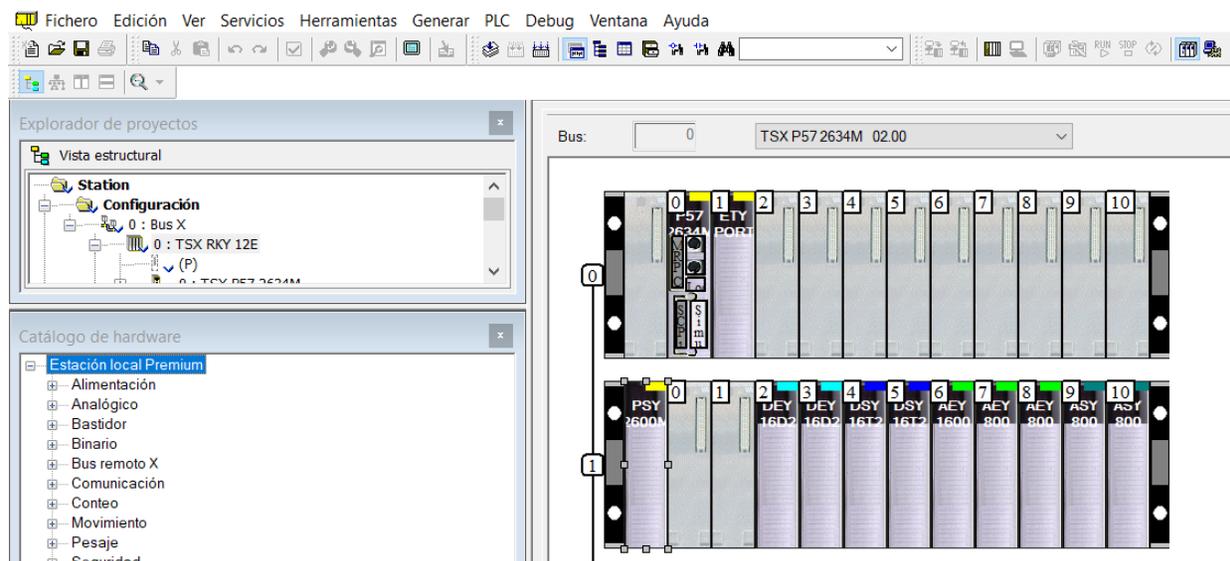
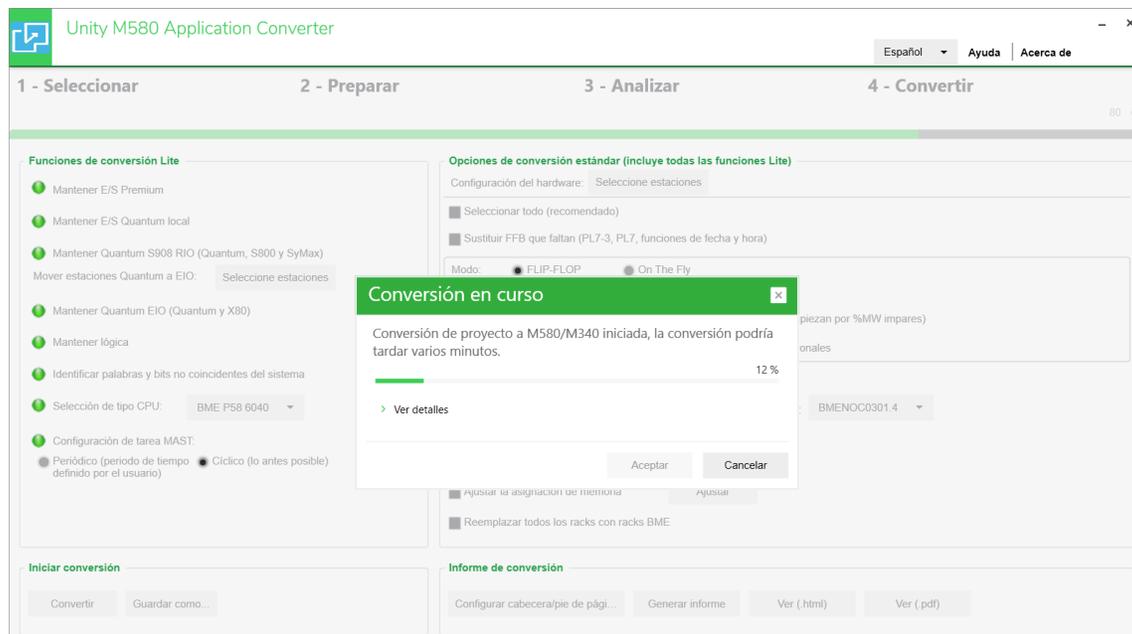


Figura 33

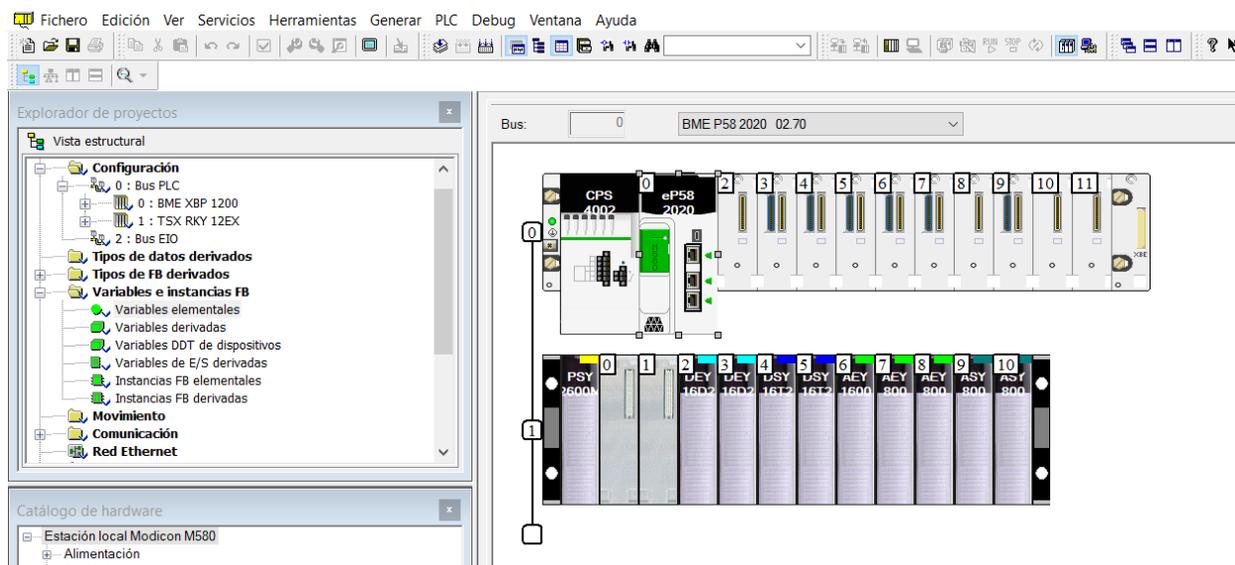
Migración del programa original de PLC Premium a PLC M580



Nota: Adaptado de Preparación de UMAC para migración de PLC Premium a M580

Figura 34

Programa migrado al PLC M580

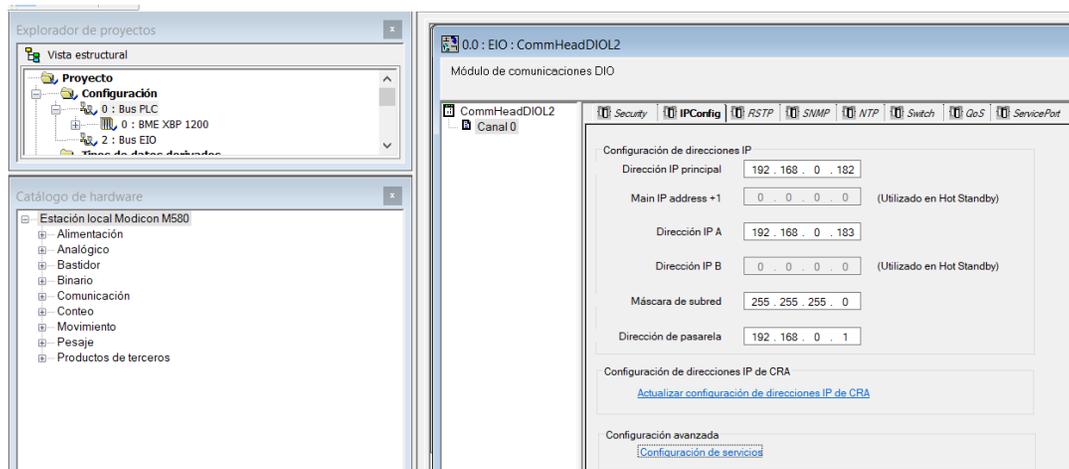


Nota: Una vez realizada la migración se debe reprogramar el controlador M580

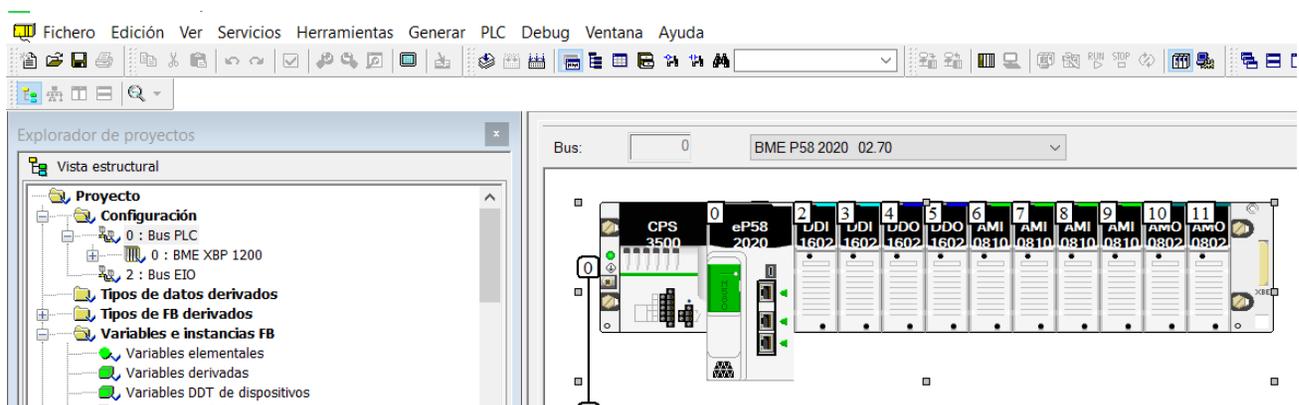
Reprogramación del PLC M580

Como primer punto se configura el PLC M580, se amplía el tamaño de los campos de direcciones globales debido a que de fábrica vienen establecidos ciertos parámetros, pero pueden ser cambiados dependiendo del tipo de datos que se tiene y las necesidades de la aplicación. También se configura las direcciones IP, en este caso el PLC cuenta con dos, se llena la máscara de subred y la dirección de pasarela, como se muestra en la Figura 35.

El PLC M580 cuenta con un módulo Ethernet integrado por lo que se habilita la comunicación a través del protocolo Modbus TCP bajo el medio físico de Ethernet con los otros dispositivos como HMI, SCADA, módulo Advantys y el módulo EGX158 (Gateway de comunicación entre dispositivos Modbus y redes Ethernet).

Figura 35*Configuración IP PLC M580*

En la Figura 36 se puede observar la construcción de la nueva arquitectura del hardware del PLC, donde se cuenta con todos los elementos descritos anteriormente como el PLC M580, fuente de alimentación, módulos de entrada y salida tanto digitales como analógicas. Debido a que por parte del fabricante ya no se fabrica el módulo TSX AEY 1600 (16 entradas analógicas), este se sustituyó por 2 módulos de 8 entradas analógicas BMX AMI 0810.

Figura 36*Arquitectura de Hardware del PLC M580*

En los módulos de E/S digitales y analógicas se direccionó las variables utilizando “alias”. Los alias son nombres simbólicos asignados a las entradas y salidas físicas, en lugar de depender únicamente de direcciones numéricas, esto mejora la legibilidad y facilita la comprensión del código, como se muestra en la Figura 37. Las variables digitales trabajan de forma booleana es decir un bit con valores 1 o 0, mientras que las variables analógicas trabajan como enteros de 16 bits con valores de -32768 a 32767. En la Figura 37 también se muestran algunas variables con su dirección y comentario, este último es otra forma de describir para que ha sido utilizado la variable de entrada o salida pero solo se puede observar en la lista de variables y no se puede instanciar por su texto en el comentario sino únicamente por la dirección numérica o alias asignado.

Figura 37

Asignación de variables en el PLC M580

The screenshot shows the SIMATIC Manager software interface. The main window displays a table of variables with the following columns: Nombre, Tipo, Valor, Comentario, Alias, and Alias de. The table lists various digital and analog variables, including digital outputs (Saida Digital CLP-1 Res...) and digital inputs (Saida Analógica CLP-1 Res...). The aliases are assigned to specific PLC addresses, such as PLC0_d0_r0_s6 and PLC0_d0_r0_s11.

Nombre	Tipo	Valor	Comentario	Alias	Alias de
M01_ST1_IT	INT		Motor Terno 1 (corrente)		PLC0_d0_r0_s6_AMI0810.ANA_CH_IN[1].ANA.VALUE
M01_SD_CLP1_R31	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[1].VALUE
M01_SD_CLP1_R30	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[2].VALUE
M01_SD_CLP1_R29	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[3].VALUE
M01_SD_CLP1_R28	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[4].VALUE
M01_SD_CLP1_R27	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[5].VALUE
M01_SD_CLP1_R26	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[6].VALUE
M01_SD_CLP1_R25	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[7].VALUE
M01_SD_CLP1_R24	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[8].VALUE
M01_SD_CLP1_R23	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[9].VALUE
M01_SD_CLP1_R22	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[10].VALUE
M01_SD_CLP1_R21	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[11].VALUE
M01_SD_CLP1_R20	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[12].VALUE
M01_SD_CLP1_R19	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[13].VALUE
M01_SD_CLP1_R18	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[14].VALUE
M01_SD_CLP1_R17	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s0_DDO1602.DIS_CH_OUT[15].VALUE
M01_SD_CLP1_R16	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[0].VALUE
M01_SD_CLP1_R15	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[1].VALUE
M01_SD_CLP1_R14	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[2].VALUE
M01_SD_CLP1_R13	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[3].VALUE
M01_SD_CLP1_R12	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[4].VALUE
M01_SD_CLP1_R11	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[5].VALUE
M01_SD_CLP1_R10	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[6].VALUE
M01_SD_CLP1_R09	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[7].VALUE
M01_SD_CLP1_R08	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[8].VALUE
M01_SD_CLP1_R07	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[9].VALUE
M01_SD_CLP1_R06	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[10].VALUE
M01_SD_CLP1_R05	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[11].VALUE
M01_SD_CLP1_R04	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[12].VALUE
M01_SD_CLP1_R03	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[13].VALUE
M01_SD_CLP1_R02	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[14].VALUE
M01_SD_CLP1_R01	EBOOL		Saida Digital CLP-1 Res...		PLC0_d0_r1_s1_DDO1602.DIS_CH_OUT[15].VALUE
M01_SA_CLP1_R03	INT		Saida Analógica CLP-1 Res...		PLC0_d0_r0_s11_AMO0802.ANA_CH_OUT[5].ANA.VALUE
M01_SA_CLP1_R02	INT		Saida Analógica CLP-1 Res...		PLC0_d0_r0_s11_AMO0802.ANA_CH_OUT[6].ANA.VALUE
M01_SA_CLP1_R01	INT		Saida Analógica CLP-1 Res...		PLC0_d0_r0_s11_AMO0802.ANA_CH_OUT[7].ANA.VALUE
M01_RES	INT		Controle do Motor da Bo...		PLC0_d0_r0_s11_AMO0802.ANA_CH_OUT[0].ANA.VALUE

[(Comando_completo_02 <DFB> : [Comando_completo_02] : 0 errores, 0 advertencias

En la Figura 38 se puede observar un ejemplo de los errores de programación que se identificaron al momento de regenerar el proyecto, por lo que se realizó la reprogramación tanto en la lógica de bloque de funciones (FBD), diagrama Ladder (LD) y texto estructurado (ST) dependiendo los errores que se vayan encontrando, para ello se identificó todas las variables como se muestra en el Apéndice A.

La reprogramación del controlador M580 fue necesaria debido a que al migrar el proyecto se tuvo diferencias en la arquitectura, capacidad de procesamiento, módulos de E/S, instrucciones de programación y protocolos de comunicación. En el Apéndice C se muestra a más detalle la reprogramación que se realizó en el PLC M580.

Figura 38

Ejemplo de errores de programación en lenguaje FBD en PLC M580

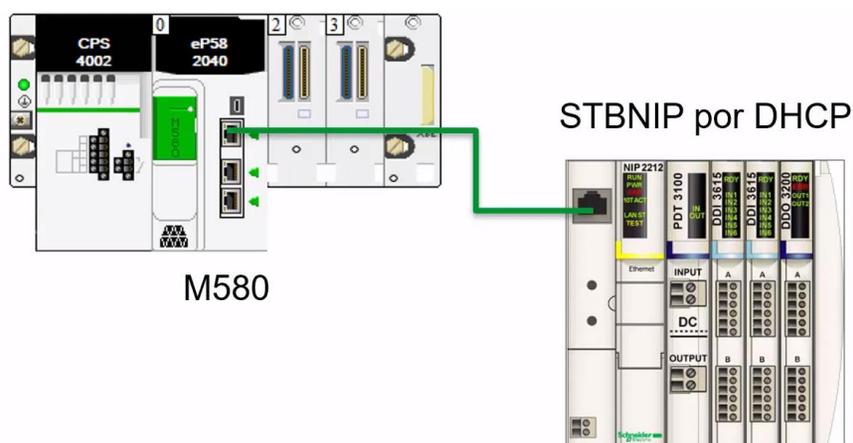
The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Explorador de proyectos' (Project Explorer) shows a tree structure with folders for 'Tipos de datos derivados' and 'Tipos de FB derivados'. Below it, the 'Propiedades de datos' (Data Properties) window is open, showing 'Atributos generales' (General attributes) with fields for 'Nombre' (Name) and 'Valor' (Value). The 'Catálogo de hardware' (Hardware Catalog) shows the selected hardware as 'Estación local Modicon M580'. The main workspace shows a Function Block Diagram (FBD) with a 'Type Error' highlighted in red. The error message at the bottom reads: '(dm <DFB> : [Temp_Dm]) : (l: 13, c: 8) E1536 Conexión no válida', '(dm <DFB> : [Temp_Dm]) : (l: 15, c: 2) E1189 Error de convertidor: ' No se puede crear el objeto. No se ha encontrado el tipo "ADDR" en TypeManager.posición = {fila=15, col=2} tamaño = {anc', and '(dm <DFB> : [Temp_Dm]) : (l: 15, c: 2) E1002 Error de sintaxis'. The FBD diagram shows a 'READ_VAR' block with inputs 'EN', 'ENO', 'ADR', 'OBJ', 'NUM', 'NB', and 'G...' and outputs 'bloco_lido', 'Temperaturas', and 'verifica'.

Reprogramación del Módulo Advantys STBNIP2212

Aprovechando la nueva tecnología que posee el PLC M580 y la forma de integrarse con otros dispositivos se reprogramó el Advantys mediante la biblioteca DTM, esta se utiliza para configurar y diagnosticar dispositivos de campo conectados al controlador. En la Figura 39 se puede observar la arquitectura del hardware entre el controlador M580 y el Advantys STBNIP2212 donde por medio de DTM el PLC M580 le asigna al Advantys una dirección IP.

Figura 39

Arquitectura del Hardware entre M580 y Advantys STBNIP2212_006



Nota: Adaptado de ¿Cómo configurar una isla Advantys STB con DTM en M580?, por (Canal Schneider Electric España, 2019)

En la Figura 40 se muestra la configuración de la dirección IP del Advantys el cual se encuentra en la misma red del PLC M580, en la parte inferior se puede observar la configuración del Role Name de la STBNIP2212, este se refiere a la identificación asignada al dispositivo. Cada rotativo tiene una función que se encuentra en la parte frontal del Advantys en este caso STBNIP2212_006, 00 es el rotativo Tens (dos dígitos) y 6 el rotativo Ones (un dígito).

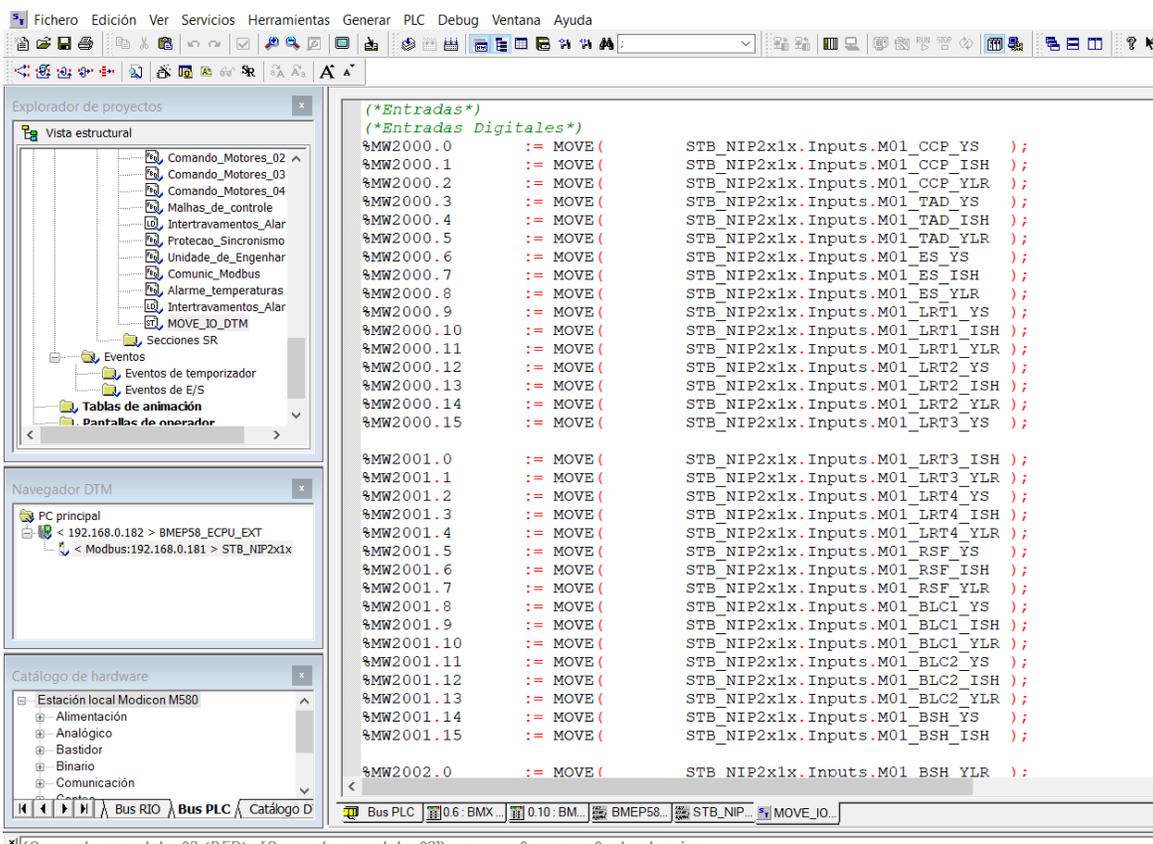
En el entorno de Advantys se puede etiquetar los canales de los módulos y en este caso se colocó los mismos nombres de las variables ya identificadas previamente, ver Apéndice A, para que al momento de comunicarse con el PLC se importen estas variables conservando los nombres asignados.

En la Figura 42 se puede observar una parte de ejemplo de la programación que se realizó en el Advantys. En el Apéndice D se adjunta a detalle la programación total que se realizó.

Figura 42

Ejemplo de reprogramación en lenguaje ST de los espacios de memoria del Advantys

STBNIP2212_006



Software utilizado para el SCADA

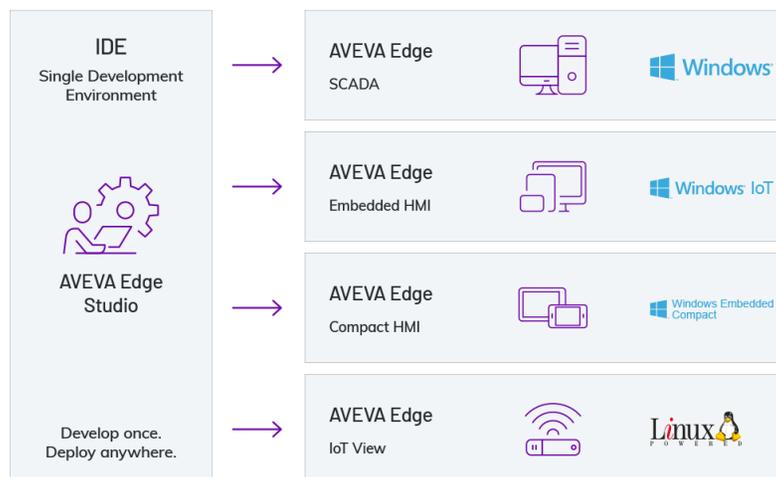
El software para diseño del SCADA es AVEVA Edge2020, este fue el requerido por las razones explicadas anteriormente, siguiendo los términos empresariales se utiliza los equipos y software de Schneider Electric. La empresa de software industrial Schneider Electric y AVEVA se han fusionado para comercializar como AVEVA Group Limited. Las marcas registradas de Schneider Electric y Life Is On son propiedad de Schneider Electric y están cedidas a AVEVA (AVEVA Group Limited, 2021).

Para el desarrollo del SCADA se utilizó el software siguiente:

- AVEVA™ Edge Studio – El entorno de desarrollo integrado que permite diseñar las aplicaciones una vez e implementarlas en casi todas las plataformas.
- AVEVA™ Edge SCADA – La plataforma completa para Windows ofrece todas las herramientas necesarias para aplicaciones avanzadas de SCADA.

Figura 43

Acerca de AVEVA Edge IDE



Nota. Adaptado de AVEVA Edge para construir sistemas de automatización integral más inteligentes, por (Schneider Electric, 2023)

La Figura 43 muestra las características de AVEVA Edge Studio, que permite realizar un único diseño en el entorno de desarrollo integrado y empleando las funciones incorporadas permite lanzar la aplicación en múltiples plataformas como ordenadores, portátiles, teléfonos y tabletas, o en la nube.

Licencia de AVEVA Edge Studio + SCADA

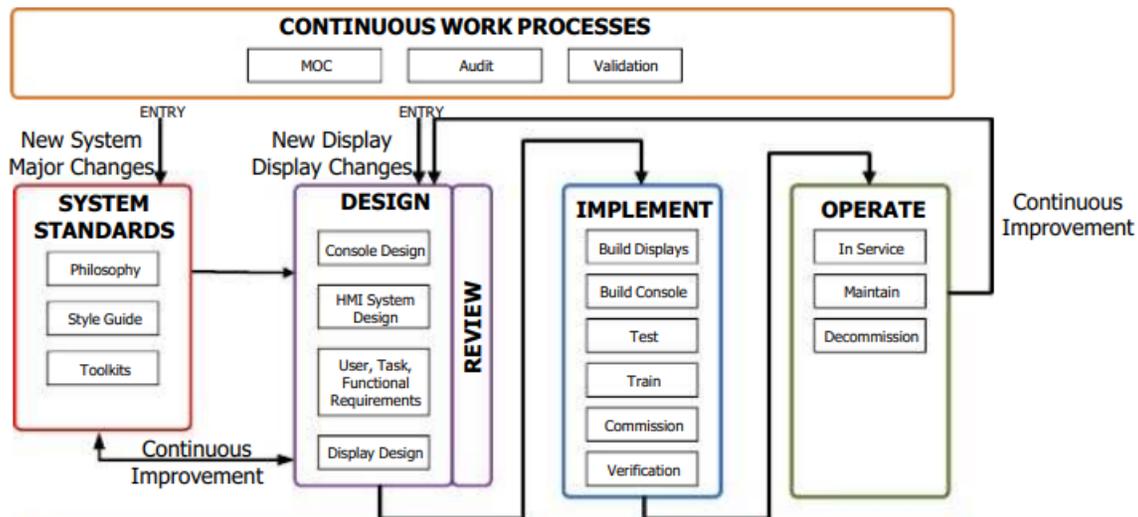
AVEVA Edge permite descargar e instalar su software de manera gratuita y cuenta con un tiempo de prueba de 40 horas una vez instalado en el CPU. Como parte de la repotenciación y para obtener todos los beneficios se optó por adquirir una licencia AVEVA Edge Studio + SCADA RT de 1500 tags. Esta licencia es de tipo permanente y entre los beneficios se enumeran los siguientes:

- Flexibilidad y escalabilidad: Adaptar y ampliar soluciones según los requerimientos.
- Eficiencia en el desarrollo: Las herramientas y funciones agilitan el desarrollo de aplicaciones y sistemas.
- Conectividad: Facilita la integración con dispositivos y sistemas industriales de diferentes fuentes, recopila información en tiempo real y facilita la toma de decisiones informadas.
- Análisis y visualización de datos: Analiza grandes volúmenes de datos y obtener información precisa para mejora de producción, identificación de problemas y elevar la eficiencia.
- Seguridad: Se tiene una seguridad robusta de datos y sistemas industriales, integridad de datos y prevenir accesos no autorizados.

Estándares de sistemas SCADA (HMI)

Figura 44

Ciclo de vida de un HMI según ISA101



Nota. Adaptado de Human Machine Interfaces for Process Automation Systems (ANSI/ISA-101, 2015)

En la Figura 44 se muestra el ciclo de vida del HMI según el estándar ISA 101.01 – 2015, donde se explica que es un trabajo continuo que debe pasar por una gestión de cambio, auditoría y validación.

Consta con las etapas: estándar de sistema, diseño, implementación y operación. Las principales entradas son los nuevos sistemas, las nuevas pantallas y los cambios mayores que son basados en la filosofía, guía de estilo y herramientas que permiten alcanzar los estándares del sistema. También es considerado la mejora continua en dos pasos, entre el diseño y estándares y entre operar y diseñar

Filosofía

Los fundamentos y principios con los que se va a diseñar el SCADA deben estar claramente establecidos con el objetivo de obtener una interfaz eficaz, por esta razón como diseñadores y apoyados en los usuarios del sistema se aplica dos filosofías principales.

HCD: El diseño centrado en humanos es un enfoque de diseño que coloca a los usuarios finales en el centro del proceso de diseño, teniendo en cuenta sus necesidades, capacidades y preferencias. En el contexto de las HMI, este diseño se centra en crear interfaces que sean intuitivas, fáciles de usar y que brinden una experiencia satisfactoria al usuario (Alan Dix, 2003).

Sistema a prueba de errores: El proceso de molienda de caña se lleva a cabo todos los días de la semana de manera ininterrumpida dividida en tres jornadas de operadores por lo que es un proceso muy importante dentro de la fábrica. Por estas razones se considera que el diseño debe ser robusto, a prueba de errores de manera que se eviten posibles fallas en la operación del sistema, evitar pérdidas económicas y humanas, disminuir la carga de trabajo al operador y aumentar la productividad.

Usuarios: los usuarios que manipulan el sistema de molienda son operadores y jefes eléctricos de la planta, todo el personal que opera posee títulos como técnicos superiores, tecnólogos o ingenieros con sólidos conocimientos en el área de electricidad y electrónica, con una amplia experiencia en el control del sistema de molienda de más de 10 años. En total son seis operadores, dos jefes de área y tres asistentes.

Los tipos de usuarios definidos en el sistema son: invitado, operador y administrador con diferentes niveles de acceso configurados en el software del SCADA.

Guía de estilo

Siguiendo la filosofía del sistema SCADA y HMI que se basa en el estándar ISA 101 y la Guía de Alto Rendimiento, se consideran las especificaciones y estándares del sistema necesarios para el diseño de las pantallas. También se apoya en el diseño existente para no provocar un cambio brusco hacia el operador en la manera que se conoce y opera el sistema actualmente, con el objetivo de evitar errores humanos y estrés en los operadores. En la pantalla Inicial se aplica las metodologías descritas.

Jerarquía de pantallas: En el proyecto se maneja dos niveles de jerarquía de pantallas donde, se puede acceder a las nueve pantallas de nivel 1 bidireccionalmente entre ellas, por otra parte, las otras pantallas de nivel 4 se consideran pantallas emergentes debido a que presentan información específica de un objeto donde también se puede realizar acciones sobre su estado o valores de configuración.

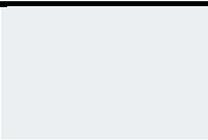
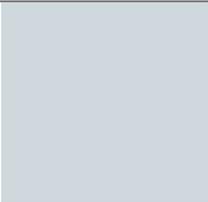
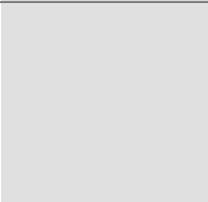
Estilo de colores: La fuente de texto y el tamaño utilizado están basados en los estándares de la filosofía SCADA seleccionada, con el uso constante de colores en escala de grises y evitando el uso de colores fuertes y oscuros que produzcan un contraste perjudicial al presentar la información al operador, como por ejemplo colores oscuros de fondo negro y texto en color gris oscuro.

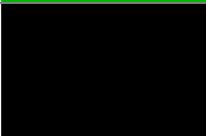
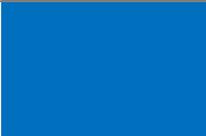
En la Tabla 4 se muestran los colores empleados en las pantallas del SCADA, se especifica el código de colores RGB por su siglas *Red*, *Green* y *Blue* que son los colores primarios. Se ha trató de cumplir con todas las recomendaciones que dictan las normas presentadas en la guía de estilo, como por ejemplo el uso de gris oscuro se recomienda usar para un actuador apagado y el color blanco para un actuador encendido, pero el jefe de mantenimiento no ha permitido este cambio debido a políticas internas de la empresa, en el

Apéndice F se muestra la solicitud de cambios enviados por él, por lo que se deben mantener ciertos colores con el fin de no confundir a los operadores y así evitar una posible falla humana.

Tabla 4

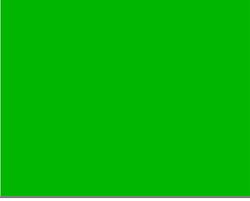
Estilo de colores en pantallas del SCADA

Elemento	Descripción	Código RGB	Color
Fondo de la plantilla	Color del fondo de las pantallas HMI's	236, 239, 241	
Fondo de barra de Navegación, de Título y de Seguridad	Color de fondo de las barras mencionadas.	207, 216, 220	
Fondo de cuadro de información	Color de fondo de las tablas de información acerca de las RPM, Amperaje y Hertz	224, 224, 224	
Elemento apagado	Color del elemento que se muestra cuando está apagado	189, 40, 44	
Elemento encendido	Color del elemento que se muestra cuando está encendido	0, 182, 0	
Elemento en falla	Color del elemento que se muestra cuando está en falla (parpadeo)	255, 239, 66	
Indicación de servidor en local	Color que se muestra cuando un elemento está en servicio local	255, 20, 24	

Elemento	Descripción	Código RGB	Color
Indicación de servidor en remoto	Color que se muestra cuando un elemento está en servicio remoto	0, 182, 0	
Textos	Color de los textos utilizado en botones y títulos	0, 0, 0	
Leyendas de las unidades	Color utilizado en las leyendas de las unidades	118, 117, 112	
Valor del amperaje	Color que se muestra en el valor del amperaje de los elementos	0, 111, 189	
Valor de los rpm	Color que se muestra en el valor de los rpm	0, 128, 0	
Tubería y jugo de los tanques	Color que se muestra en el jugo de caña y tuberías de los tanques	192, 192, 0	
Tubería y agua caliente	Color que se muestra en la tubería y líquido del tanque de imbibición	0, 175, 84	
Tubería de lubricación	Color que se muestra en la tubería de lubricación	128, 128, 128	

Alarmas: Siguiendo los estándares establecidos, para este proyecto se manejan 4 niveles de alarmas siendo el nivel 1 el de mayor relevancia por ser un mensaje o alerta crítica y siendo el nivel 4 el de menor relevancia por su bajo impacto en el proceso. En la Tabla 5 se observa los colores definidos para cada tipo de alarma.

Tabla 5*Estilo de colores para alarmas en pantallas del SCADA*

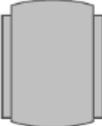
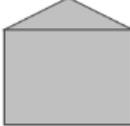
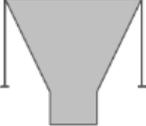
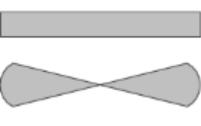
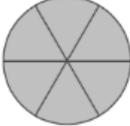
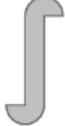
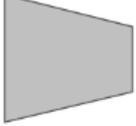
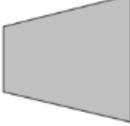
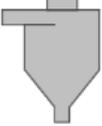
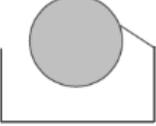
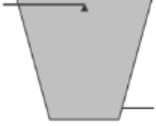
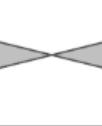
Alarma	Descripción	Código RGB	Color
Alarma de prioridad 1	Color que se muestra cuando el elemento se encuentra en sobrecarga	255, 0, 0	
Alarma de prioridad 2	Color que se muestra cuando el elemento se encuentra en falla	128, 0, 128	
Alarma de prioridad 3	Color que se muestra cuando el elemento se encuentra sin permiso	50, 150, 255	
Alarma de prioridad 4	Color que se muestra cuando el elemento se encuentra conectando	0, 182, 0	

Kit de herramientas SCADA

Para la pantalla de Inicio se usó la simbología que sugiere la norma ISA S5.1 para la representación gráfica de los instrumentos y equipos como motores, válvulas, tanques, filtros entre otros. En la Figura 45 se muestran la simbología recomendada para instrumentación.

Figura 45

Simbología P&ID basada en la norma ISA S5.1

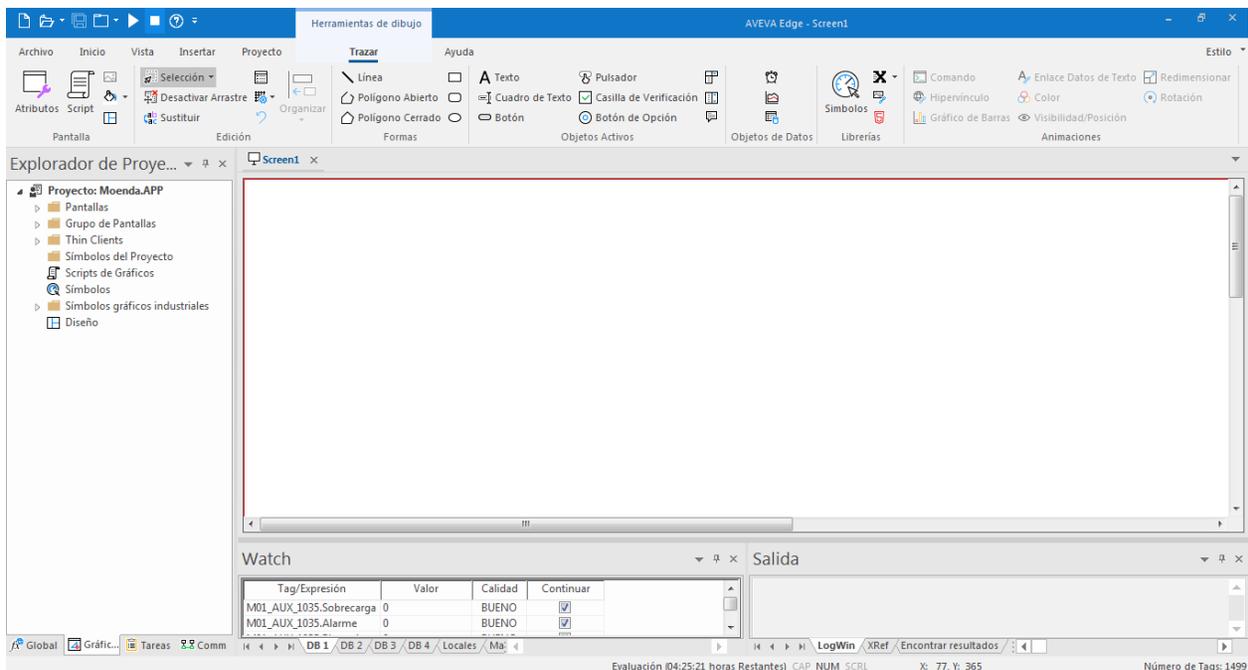
Torre de destilación	Tanque encamisado	Reactor	Tanque
			
Tanque Atmosferico	Contenedor (Bin)	Tolva pesadora	Horno
			
Motor	Bomba	Soplador	Intercambiador de aire
			
Horno rotativo	Transportador	Tranp. de tornillo 1	Transp. De banda
			
Transp. de tornillo 2	Alimentador rotativo	Elevador	Mezclador en linea
			
Compresor	Turbina	Ciclon Separador	Separador rotativo
			
Torre de enfriamiento	Mezclador estático	Tolva	Filtro de bolsa
			
Hervidor encamisado	Agitador de cuchilla	Orificio de restricción	Agitador
			

Nota: El gráfico representa los símbolos que se utilizan en los diagramas de instrumentación y tuberías. Tomado de *P&ID Diagramas de Tuberías e Instrumentación* por (Control Real Español, 2019)

El software utilizado para el diseño de las pantallas fue AVEVA Edge Studio, el cual presenta varias funciones y herramientas para que el diseñador pueda alcanzar los objetivos planteados con la filosofía y metodología elegida. En la Figura 46 se muestra el menú principal del software, en el cual se tiene las herramientas de trazado para animar las imágenes y formas, la carpeta raíz del proyecto donde se observan las pantallas generadas, las tareas donde se generan los históricos ordenados en tendencias gráficas, la comunicación donde se direccionan los tags, el recuadro *Watch* que permite leer y escribir las variables, en salida se muestran los mensajes del sistema, en la subpestaña proyecto se puede configurar la resolución de las pantallas, los usuarios del sistema, la seguridad, entre otros.

Figura 46

Software de diseño para pantallas del SCADA AVEVA Edge Studio



Etapa de diseño del SCADA

El diseño de las pantallas se lo realiza basándose en los principios y consideraciones del estándar ISA 101 y la Guía de Alto Rendimiento.

Análisis de usuarios y funciones

El sistema SCADA de los molinos Dedini posee tres tipos de usuarios principales como se muestra en la Figura 47, los cuales hacen uso del monitoreo y control del proceso. Además de la creación de un usuario web que realiza únicamente el monitoreo. El acceso de los usuarios está definido por el software AVEVA Edge SCADA y en la Tabla 6 se muestra la descripción de estos usuarios.

Figura 47

Configuración de los tipos de usuario

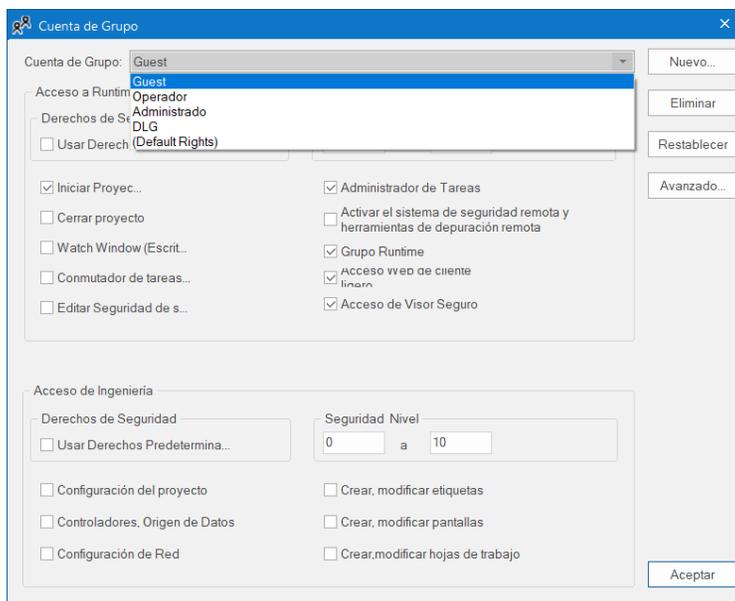


Tabla 6*Tipos de usuario y funciones en el sistema SCADA*

Usuario	Descripción	Funciones
Administrador	Ingenieros del departamento eléctrico	Sin límite de acceso Monitoreo y control de todas las variables Supervisión de alertas y avisos Configuración de consignas Visualización de históricos Cambios en la seguridad de usuarios
Operador	Operadores de turno del molino	Monitoreo y control de todas las variables Supervisión de alertas y avisos Configuración de consignas Visualización de históricos
Invitado	Personal que reemplaza por una hora o menos	Monitoreo y control de todas las variables Supervisión de alertas y avisos Configuración de consignas
Usuario web	Jefe del departamento eléctrico	Monitoreo de todas las pantallas sin posibilidad de control o cambio de consignas Visualización de alertas y avisos Visualización de históricos

Diseño de pantallas SCADA

El diseño del SCADA consta de varias pantallas de nivel 1 y de nivel 4, el orden de los elementos en las interfaces de estas se mantuvo de forma similar al SCADA anterior debido al pedido del jefe eléctrico basado en las políticas internas de la empresa, en el Apéndice G se puede observar un avance del proyecto y observaciones e indicaciones impartidas por parte de él.

En las siguientes figuras se muestran las pantallas del SCADA que han sido usadas por más de 12 años, en la Figura 48 se muestra la pantalla de inicio, en la Figura 49 se muestra la pantalla de preparación y en la Figura 50 se muestra la pantalla de molinos, estas tres pantallas son las principales al momento de operar la molienda.

Figura 48

Pantalla de inicio actual del SCADA



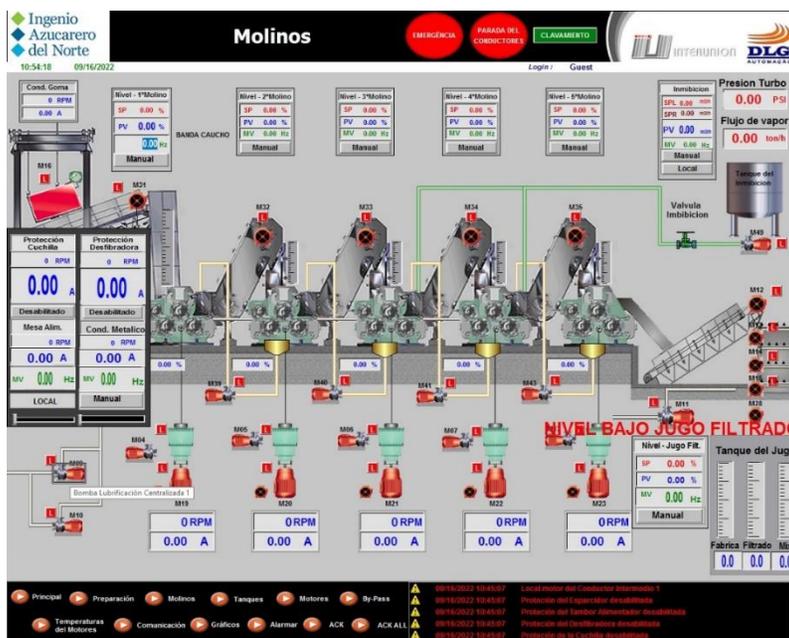
Figura 49

Pantalla de preparación actual del SCADA



Figura 50

Pantalla de molinos actual del SCADA

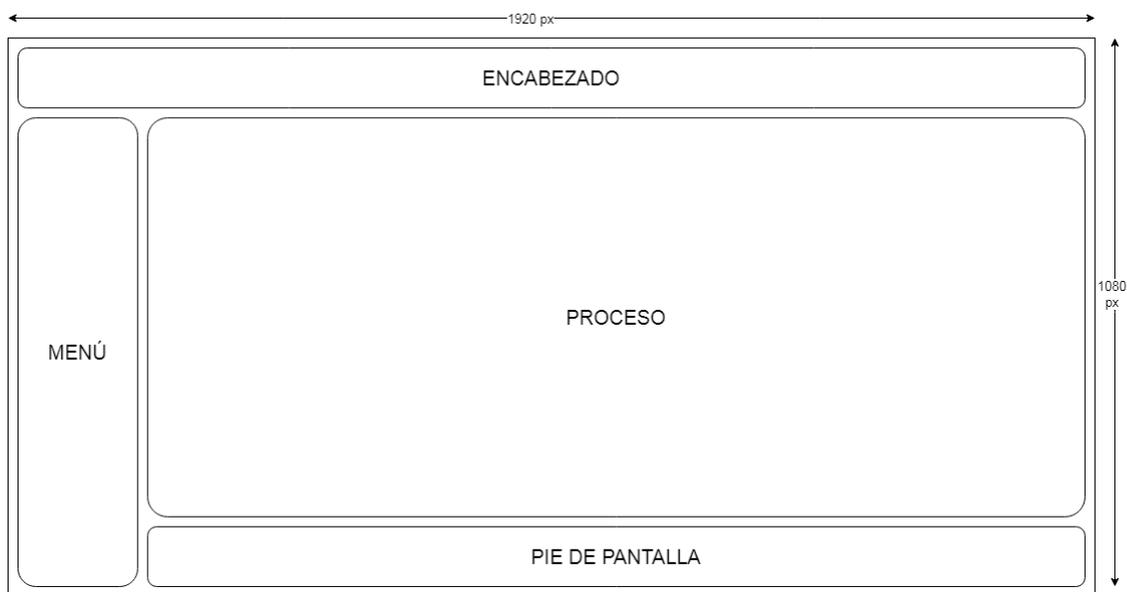


Siguiendo las recomendaciones de alto rendimiento para HMI se estableció un menú de navegación fijo y constante en todo momento, un encabezado para informar acerca de la pantalla que se está accediendo además de los datos del operador actual, fecha y hora. Por otra parte, al pie de la pantalla se muestran los mensajes de las distintas alarmas y avisos que se van produciendo en el proceso de molienda además de los botones de paro de emergencia, y en la mitad de la pantalla es para mostrar el proceso seleccionado.

En la Figura 51 se muestra la distribución de las pantallas con una resolución total de 1920x1080 pixeles con los cuales se aprovecha el máximo de resolución disponible en el monitor actual.

Figura 51

Distribución de pantallas del SCADA



Una vez realizado la distribución de pantallas se diseña el contenido que lleva cada una de estas, se enlista de manera general el contenido de cada una de las pantallas en la Tabla 7, estas pantallas son definidas como nivel 1 debido a que se pueden acceder en cualquier

momento desde cualquier posición con la excepción de la pantalla “Derivar” que se muestra como pantalla emergente o de nivel 4 y de los botones “Reconocer” y “Reconocer todo” que son de acción.

Tabla 7

Contenido de las pantallas de nivel 1

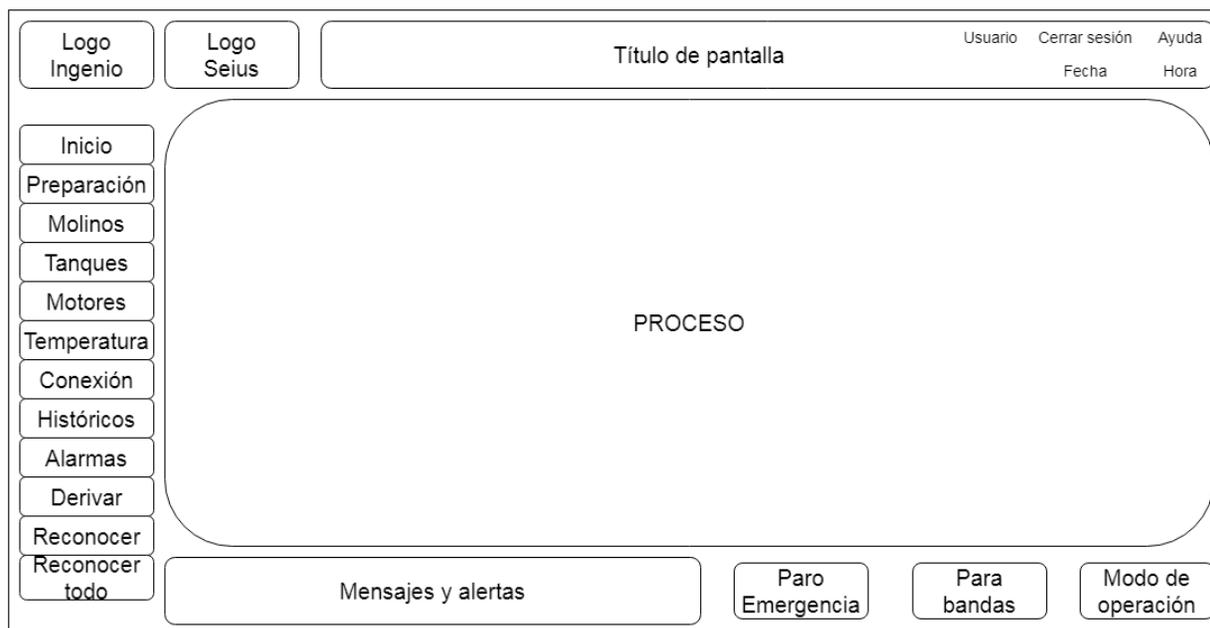
Pantalla	Contenido	Descripción
Encabezado	Logo IANCEM	
	Logo Seius	
	Título de pantalla actual	Toma los valores del menú de navegación
	Usuario actual	Muestra el usuario con permisos para operar
	Inicio/Fin de sesión	Iniciar o finalizar sesión actual
	Fecha/Hora	Fecha y hora del sistema
	Ayuda	Muestra páginas y contactos para solicitar asistencia
	Menú de navegación	Inicio
	Preparación	Primera parte del proceso de molienda
	Molinos	Segunda parte del proceso de molienda
	Tanques	Niveles de los tres tanques del proceso
	Motores	Todos los motores del proceso
	Temperatura	Valores de los motores principales
	Conexión	Arquitectura general de comunicación
	Históricos	Valores registrados de corrientes, niveles
	Alarmas	Alertas y avisos de los eventos del proceso

Pantalla	Contenido	Descripción
Pie de pantalla	Mensajes y avisos	Eventos de encendido/apagado/falla/sobre nivel-carga
	Paro de emergencia	Detiene todo el proceso de molienda
	Paro de bandas	Detiene todas las bandas conductoras
	Modo de operación	Cambia entre modo secuencial o mantenimiento
Proceso	Distintas pantallas	Muestra el contenido seleccionado en navegación

Con las pantallas de nivel 1 definidas, se diseña la distribución de los componentes de cada una de ellas, en la Figura 52 se muestra como está distribuido los componentes y en cada una de las pantallas el espacio de proceso es el de mayor proporción, varía su contenido en función de la selección del menú de navegación.

Figura 52

Distribución de componentes en pantallas del SCADA



Las pantallas de nivel 4 son las que se muestran de manera superpuesta, estas son también conocidas como pantallas emergentes. La manera de poder abrir una de estas pantallas será desde un botón específico de la zona de proceso, existen varias pantallas de nivel 4 que permiten realizar varias configuraciones y acciones, en la Tabla 8 se resumen las pantallas de nivel 4.

Tabla 8

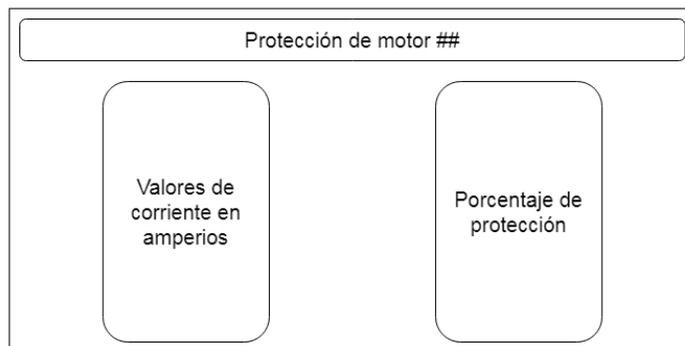
Contenido de las pantallas de nivel 4

Contenido de pantallas de nivel 4		
Pantalla	Contenido	Descripción
Protecciones	Corrientes / Porcentajes	Establece valores acorde al motor
Sintonizar PID	Valores/Histórico/Limites	Leer y escribir parámetros
Control motores	Estado/Acciones	Arranque, paro y reconocimiento de fallas
Confirmación	Aceptar/Cancelar	Confirma acción por seguridad
Derivar	Bandas intermedias	Elige cual derivar
Sintonizar temperatura	Bobinas/Valores	Establece valores acorde al motor

Las pantallas de nivel 4 tienen diferentes diseños y resoluciones. En la Figura 53 se observa el diseño para la pantalla emergente donde se visualizan los niveles de protecciones del motor seleccionado.

Figura 53

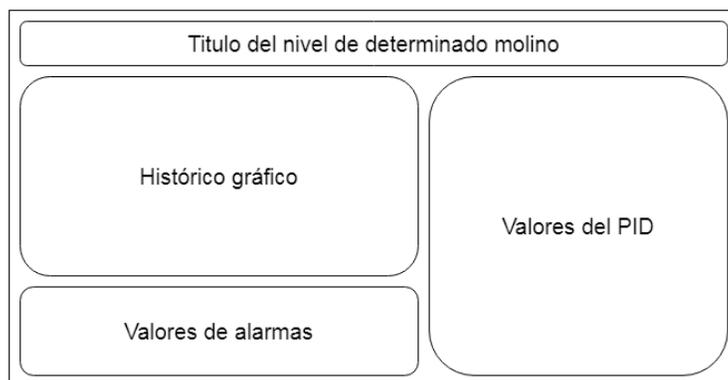
Pantalla de nivel 4 protecciones de motor



En la Figura 54 se observa el diseño para la pantalla emergente donde se sintoniza los valores del PID para los molinos, también permite visualizar un histograma con los valores PV (variable del proceso), SP (set point o consigna) y MV (variable manipulada).

Figura 54

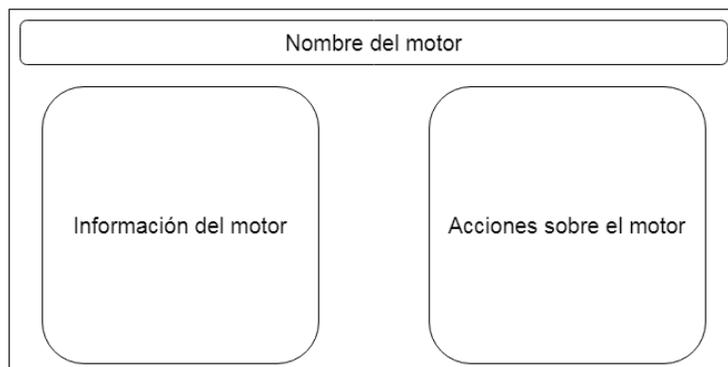
Pantalla de nivel 4 Sintonización PID



En la Figura 55 se observa el diseño para la pantalla emergente donde realiza el arranque, paro y reconocimiento de fallas de los motores según el que haya sido seleccionado.

Figura 55

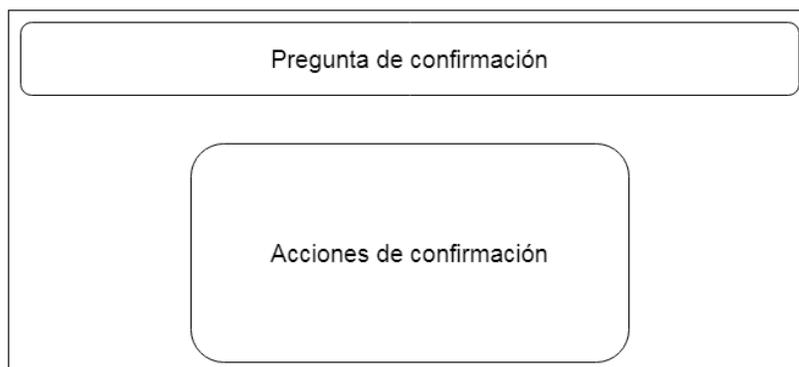
Pantalla de nivel 4 controles de motores



En la Figura 56 se observa el diseño para la pantalla emergente donde se realiza la pregunta de confirmación en el caso de presionar el botón de paro de emergencia, paro de bandas transportadoras y en el cambio de modo de operación.

Figura 56

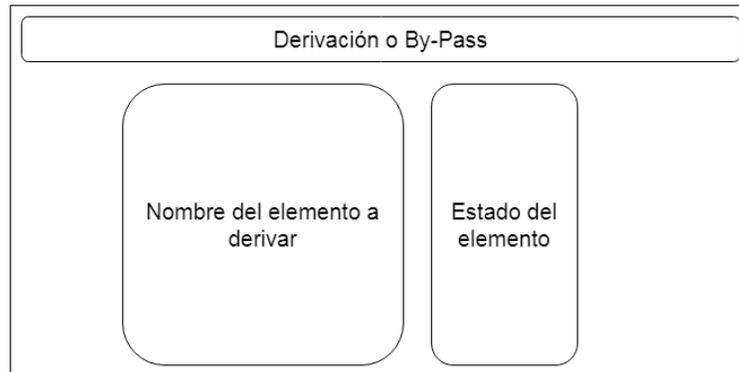
Pantalla de nivel 4 pregunta de confirmación



En la Figura 57 se observa el diseño para la pantalla emergente, donde se realiza la derivación de determinado motor intermedio entre dos molinos.

Figura 57

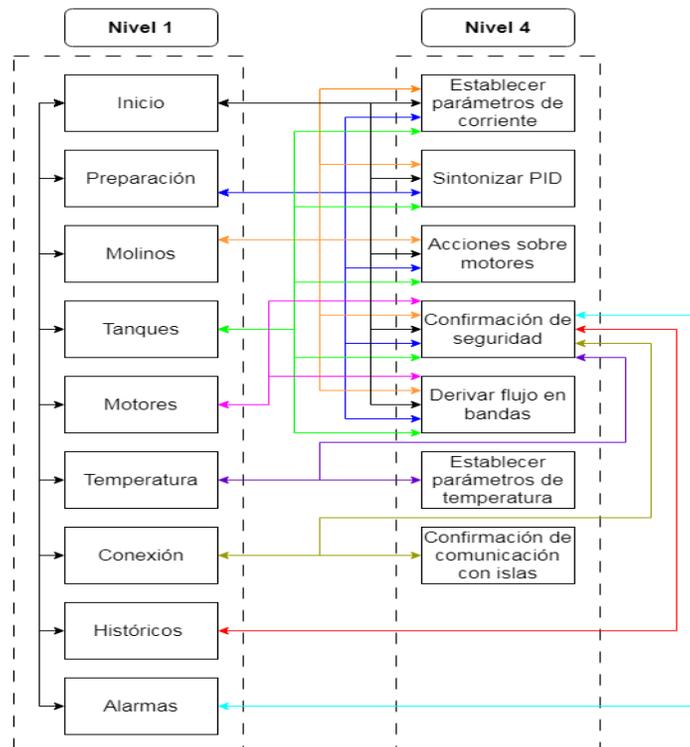
Pantalla de nivel 4 derivaciones o by-pass



La navegación entre pantallas de nivel 1 y 4 se explica en la figura Figura 58, siendo posible tener varias pantallas de nivel 4 abiertas al mismo tiempo y solo una de nivel 1 a la vez.

Figura 58

Navegación entre pantallas



Importación de tags

Se establece una comunicación de tipo Modbus TCP con el PLC, con esto se obtienen las variables declaradas en él y estas variables son usadas en las distintas pantallas, existen variables de tipo booleano, entero y doble.

Figura 59

Importación de tags desde PLC a SCADA

The screenshot shows the configuration window for a Modbus TCP driver named 'MOTCP001.DRV'. The left pane displays a project tree for 'Moenda.APP' with a 'Drivers' folder containing a 'MOTCP' folder. The right pane shows the configuration for the 'Liga' tag. The configuration includes a description field, a checkbox for 'Incrementar prioridad', and fields for 'Trigger de lectura', 'Trigger de Escritura', 'Estación', and 'Cabecera'. Below the configuration fields is a table of tags.

	Nombre de Tag	Dirección	Div	Añadir
	Filtrar texto	Filtrar texto	Filtrar texto	Filtrar texto
1	M01_AUX_1001.Liga	1001.0		
2	M01_AUX_1002.Liga	1002.0		
3	M01_AUX_1003.Liga	1003.0		
4	M01_AUX_1004.Liga	1004.0		
5	M01_AUX_1005.Liga	1005.0		
6	M01_AUX_1006.Liga	1006.0		
7	M01_AUX_1007.Liga	1007.0		
8	M01_AUX_1008.Liga	1008.0		
9	M01_AUX_1009.Liga	1009.0		

Generación de alertas y mensajes

Las alertas fueron configuradas en la sección de tareas, se asocia una variable a un evento y este es comparado con un nivel alto o bajo, se configura un mensaje que aparecerá cuando el evento haya sido llamado. En la Figura 60 se muestra como estas alertas han sido configuradas, complementándose con un color distintivo cuando se produce la alerta y siendo

posible reconocer la alerta y marcar la normalización o desactivación de la alerta con otros colores.

Figura 60

Configuración de alertas en el SCADA

	Nombre de Tag	Tipo	Límite	Mensaje	Prioridad	Selección
	⌕ Filtrar texto	⌕ (...)	⌕ Filtrar texto	⌕ Filtrar texto	⌕ Filtra	⌕ Filtrar t
1	M01_AUX_1001.Desliga	Hi	1.000000	Botón desliga motor Cush-cush de la Paja	0	
2	M01_AUX_1001.Falha	Hi	1.000000	Falla motor Cush-cush de la Paja	0	
3	M01_AUX_1001.Local_Remoto	Lo	0.000000	Local motor Cush-cush de la Paja	0	
4	M01_AUX_1001.Sobrecarga	Hi	1.000000	Carga Excesiva motor Cush-cush de la Paja	0	
5	M01_AUX_1001.Alarme	Hi	1.000000	Alarma motor Cush-cush de la Paja	0	

Generación de históricos

La generación de tendencias graficas se realizó agregando las variables deseadas en el único *trend* generado, posteriormente se puede seleccionar la variable a visualizar y también es posible ubicar con el cursor la fecha y hora determinadas para revisar datos pasados. En la Figura 61 se puede observar cómo se han agregado algunas variables para ser graficadas como tendencias.

Figura 61

Configuración del grafico de tendencias en el SCADA

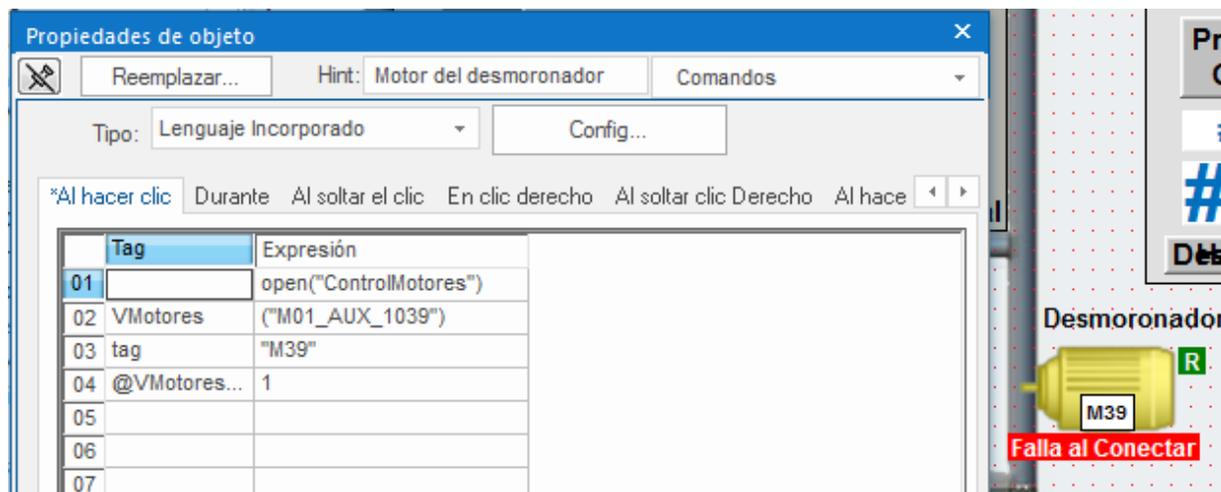
	Nombre de Tag	Banda Muerta
	Filtrar texto	Filtrar texto
1	M01_LIC111.PV	
2	M01_LIC111.SP	
3	M01_LIC111.MV	
4	M01_LIC112.PV	
5	M01_LIC112.SP	
6	M01_LIC112.MV	
7	M01_LIC113.PV	
8	M01_LIC113.SP	
9	M01_LIC113.MV	
10	M01_LIC114.PV	
11	M01_LIC114.SP	
12	M01_LIC114.MV	
13	M01_LIC115.PV	

Acciones y comandos en el SCADA

Las acciones sobre un botón o una imagen han sido configuradas mediante la opción de comandos, el cual permite reutilizar el llamado a una clase, es decir con la acción de pulso se modifican varios valores como se muestra en la Figura 62 se modifican los valores de una misma clase y se llama a la apertura del control de motores, en este caso la pantalla emergente que se despliega hace que los valores correspondan al motor seleccionado.

Figura 62

Configuración de acciones y comandos en el SCADA



En la Figura 63 se muestra como ejemplo de las pantallas diseñadas la pantalla de Inicio, en esta se ha unificado el proceso que antes se mostraba en dos pantallas, la de Preparación y Molinos para que el operador pueda tomar decisiones más rápido y tener un panorama completo del proceso.

Se ha aplicado los estándares y filosofías planteadas anteriormente y tomando en cuenta las solicitudes del cliente, en el Apéndice H se muestra el Manual de usuario para el SCADA, aquí se indican a detalle las pantallas diseñadas.

En la Figura 64 se muestra un ejemplo de una pantalla de nivel 4, esta representa la pantalla de derivación, donde se puede modificar el funcionamiento de las bandas transportadoras. En el Apéndice H se puede observar a detalle las demás pantallas de nivel 4 diseñadas.

Figura 63

Diseño final de pantalla de inicio SCADA

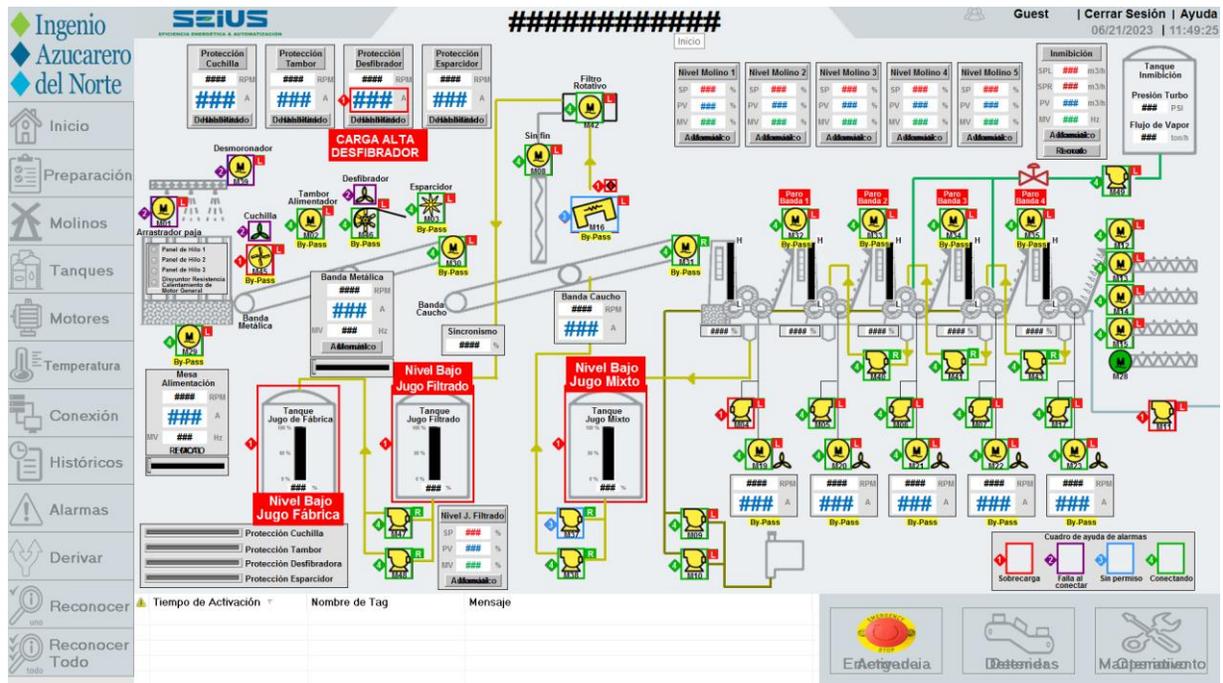
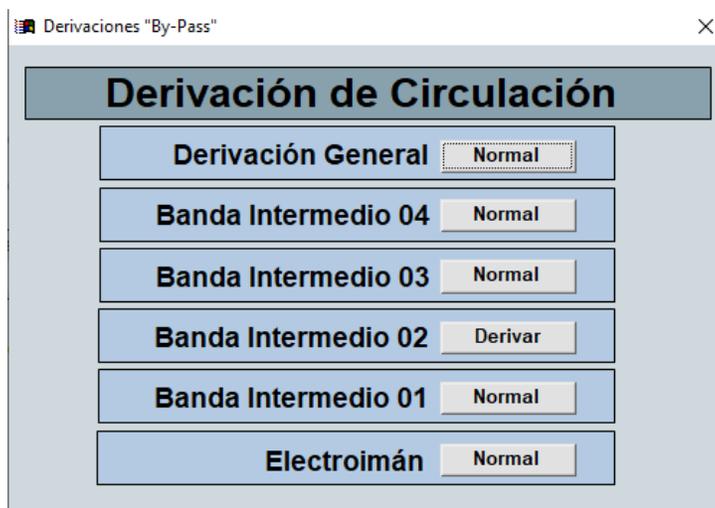


Figura 64

Diseño final de pantalla emergente SCADA



Etapa de rediseño de la pantalla HMI

Durante la etapa de rediseño de la HMI se busca mejorar la funcionalidad, usabilidad y eficiencia del HMI existente, con el objetivo de optimizar las operaciones y facilitar la toma de decisiones en el entorno de producción. Esta etapa implica una revisión exhaustiva de la interfaz y la implementación de mejoras basadas en la norma ISA 101, Guía de Alto Rendimiento y las necesidades de los operadores de la empresa IANCEM. Para el desarrollo de la pantalla HMI se utilizó el software siguiente:

Vijeo Designer - El software de configuración multiplataforma Vijeo Designer ayuda a crear aplicaciones de diálogo de operador para controlar los sistemas de automatización. Este componente HMI de SoMachine y EcoStruxure Machine Expert, puede utilizarse en paneles como el Harmony STU S5T (Schneider Electric, 2023).

En el rediseño de la HMI se incluyeron cambios en cuanto a la disposición de los elementos gráficos como botones, indicadores, colores, medio de comunicación, para mejorar la claridad y navegación.

Usuarios: Para la operación del HMI se considera que los usuarios u operadores de la empresa IANCEM que manipulan el sistema HMI son personal con conocimiento total del proceso y los subsistemas del proceso de molinos, con la experiencia y capacitación en el análisis de las variables del proceso y en la parte eléctrica para solventar cualquier inconveniente.

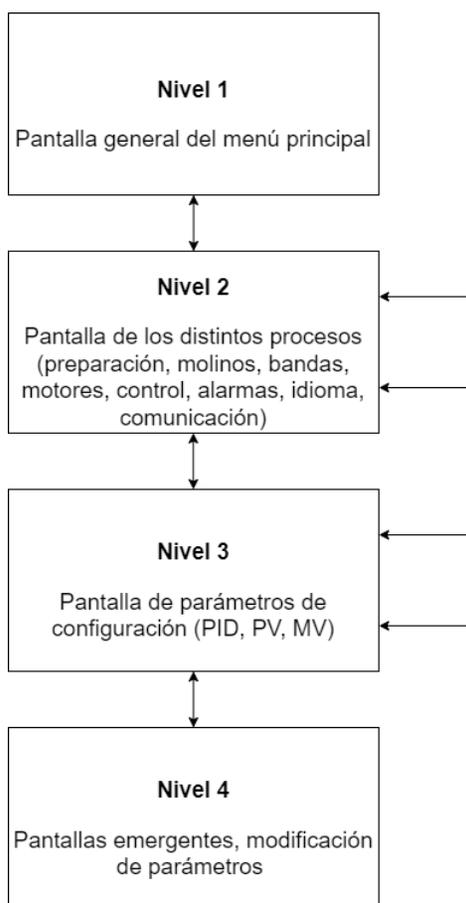
Guía de estilo

La pantalla HMI se ha regido al estándar ISA 101, la Guía de Alto Rendimiento detalladas en la filosofía del sistema SCADA y la guía interna de la empresa IANCEM.

Jerarquía de pantallas: La jerarquía de pantallas que se va a utilizar consta de 4 niveles de pantallas que se muestran en la Figura 65. Las pantallas de nivel 1 pueden navegar de manera bidireccional con las pantallas de nivel 2, las pantallas de nivel 2 pueden navegar bidireccionalmente con las pantallas de nivel 3 y entre pantallas del mismo nivel, y las pantallas de nivel 3 pueden navegar de forma bidireccional con las pantallas de nivel 4.

Figura 65

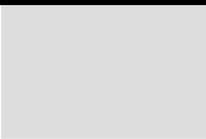
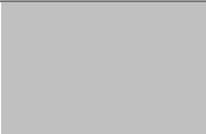
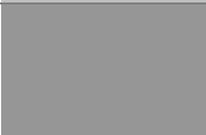
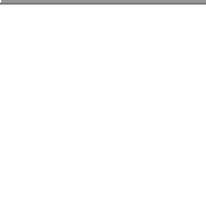
Jerarquía y navegación de pantallas de la pantalla HMI



Estilo de Colores: El estilo de colores y el tipo de letra se seleccionó basándose en la Norma ISA 101, la Guía de Alto Rendimiento y las guías internas de la empresa. En la Tabla 9 se puede observar el código RGB de cada color que se utilizó para rediseñar la pantalla HMI.

Tabla 9

Contenido de las pantallas de nivel 4

Elemento	Descripción	Código RGB	Color
Fondo de la plantilla de la pantalla nivel 1, 2 y 3	Color del fondo de las pantallas HMIs	221, 221, 221	
Fondo de los botones de navegación	Color de fondo de los botones de navegación	192, 192, 192	
Fondo estado del motor	Color de fondo del estado del motor en sobrecarga y en falla	150, 150, 150	
Fondo estado del motor	Color de fondo del estado de motor conectado y desconectado	255, 255, 255	
Fondo de servidor en local o remoto	Color de fondo que indica en que servidor se encuentra	0, 0, 255	
Texto del servidor en local o remoto	Color del texto que indica en que servidor se encuentra	255, 255, 255	
Fondo de los indicadores de nivel	Color que se muestra el gráfico de barras que indica los niveles	0, 100, 100	
Fondo de las flechas de navegación	Color que indica las flechas de navegación entre pantallas nivel 2	128, 128, 128	
Textos	Color de los textos utilizado en botones y títulos	0, 0, 0	

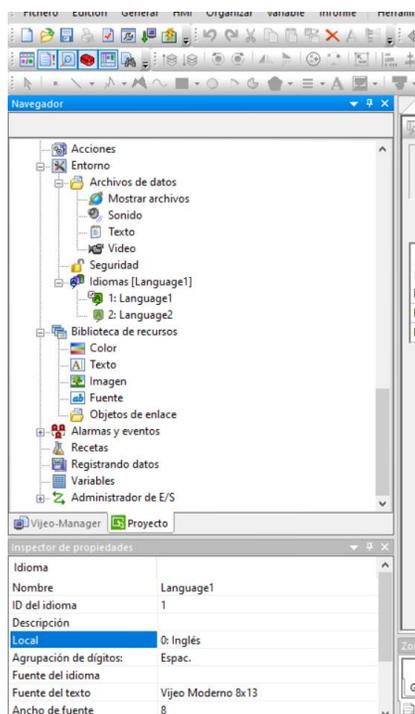
Elemento	Descripción	Código RGB	Color
Fondo que representa el jugo en los molinos	Color que se utiliza para ejemplificar el jugo de caña en los molinos	134, 137, 50	
Fondo de la plantilla de nivel 4	Color del fondo de la pantalla HMI	255, 255, 255	

Kit de herramientas SCADA

Para el desarrollo del rediseño de la pantalla HMI se utilizó el software de Vijeo Designer 6.2, el cual ofrece una amplia gama de herramientas y funcionalidades que permite crear una aplicación de supervisión y control.

Figura 66

Navegador de la pantalla HMI en el entorno de Vijeo Designer

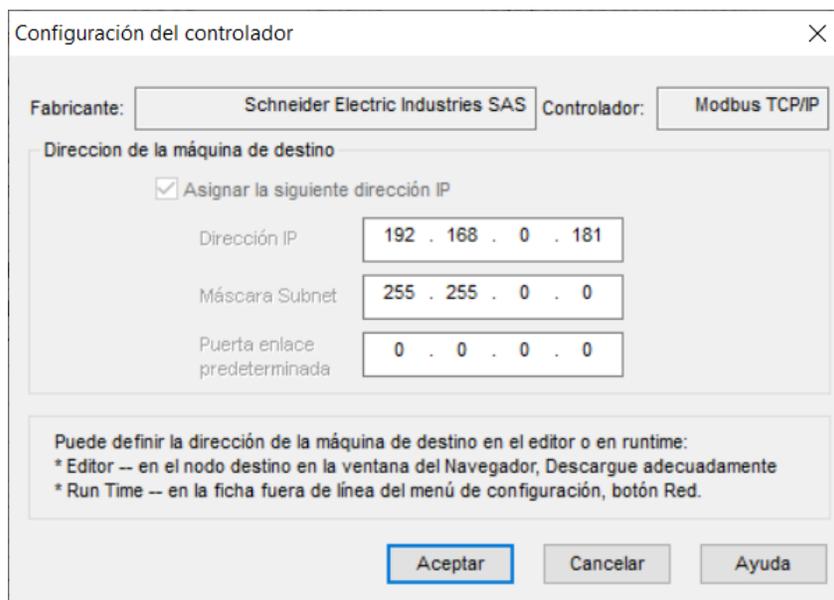


En la Figura 66 se puede observar el menú de navegación del proyecto, en este se muestra los paneles gráficos, configuración del entorno, configuración de idiomas, bibliotecas y recursos, alarmas y eventos, protocolo de comunicación, entre otros.

En la Figura 67 se puede observar que se agregó y configuró el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. Antes del rediseño del HMI se tenía el protocolo de comunicación Uni-Telway pero ahora se ha cambiado debido a que Modbus TCP/IP es un protocolo abierto y ampliamente utilizado, tiene una ventaja en términos de velocidad, posee una comunicación fiable y permite la transmisión de datos entre un dispositivo maestro y uno o varios dispositivos esclavos.

Figura 67

Configuración del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP



The image shows a software configuration window titled "Configuración del controlador". It contains the following fields and options:

- Fabricante:** Schneider Electric Industries SAS
- Controlador:** Modbus TCP/IP
- Dirección de la máquina de destino:**
 - Asignar la siguiente dirección IP
 - Dirección IP:** 192 . 168 . 0 . 181
 - Máscara Subnet:** 255 . 255 . 0 . 0
 - Puerta enlace predeterminada:** 0 . 0 . 0 . 0
- Nota:** Puede definir la dirección de la máquina de destino en el editor o en runtime:
 - * Editor -- en el nodo destino en la ventana del Navegador, Descargue adecuadamente
 - * Run Time -- en la ficha fuera de línea del menú de configuración, botón Red.
- Botones:** Aceptar, Cancelar, Ayuda

En la Figura 68 se muestra la configuración de la IP hacia donde apunta la pantalla HMI, en este caso conecta con la IP del PLC M580. Se configura el protocolo de IP, el cual es TCP que se refiere a la capa de transporte. Se debe activar la norma IEC61131, la cual establece un

conjunto común de lenguajes y métodos de programación, y así no tener problemas con las tags creados.

Figura 68

Configuración de direccionamiento hacia el PLC M580

The image shows a software configuration window titled "Configuración del equipo" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Dirección del Equipo:** Includes a text field for "Dirección IP" with the value "192 . 168 . 0 . 182", a spinner for "ID de la Unidad" set to "255 / 255", a checkbox for "Conexión secundaria" (unchecked), and a text field for "Copia de seguridad del IP" with the value "0 . 0 . 0 . 0".
- Protocolo:** A dropdown menu for "Protocolo de IP" is set to "TCP".
- IEC61131 Sintaxis:** A checked checkbox and a dropdown for "Modo de dirección" set to "0-basado (Predetermina)".
- Variables:** Two dropdown menus: "Orden palabra de doble palabra" set to "Primera palabra alta" and "ASCII Mostrar orden de byte" set to "Primer byte bajo".
- Optimización de la Comunicación:** A dropdown for "Longitud de Trama preferida" set to "Personalizar" and a spinner for "120" bytes.
- Administración del Diccionario de datos:** A checked checkbox for "Precargar Diccionario de datos para las modificaciones online" and an unchecked checkbox for "Variables de la CPU redundantes de M580".

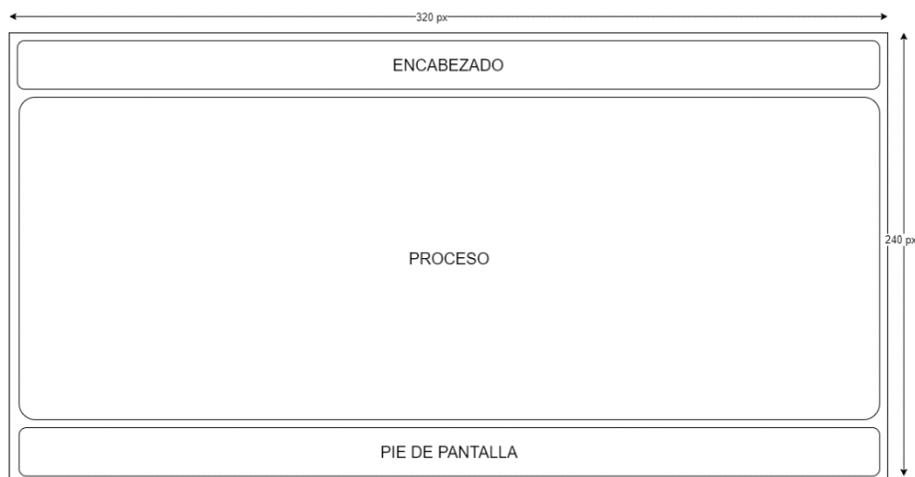
At the bottom right, there are three buttons: "Aceptar" (highlighted with a blue border), "Cancelar", and "Ayuda".

Etapa de rediseño

Para el rediseño de la pantalla HMI se trabajó sobre las pantallas existentes, lo que se aplicó fue unos cambios a nivel de color, organización, medio de comunicación, entre otros. En la Figura 69 se muestra la distribución de las pantallas con una resolución de 320x240 pixeles.

Figura 69

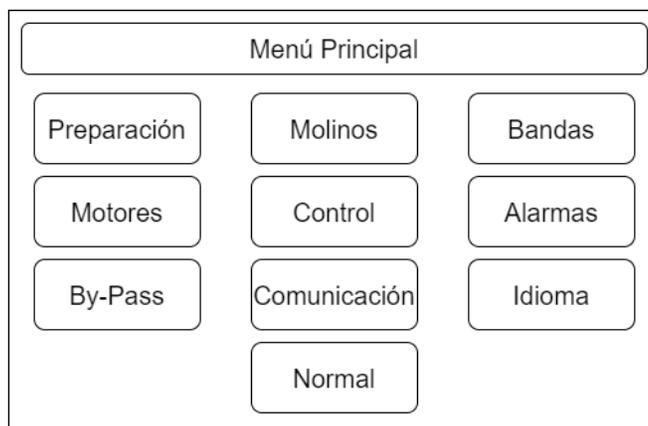
Distribución de pantallas de HMI



En la Figura 70 se puede observar el diseño de la pantalla de nivel 1, en este caso solo se cuenta con una de este nivel, de aquí se puede ingresar a los distintos procesos de molienda.

Figura 70

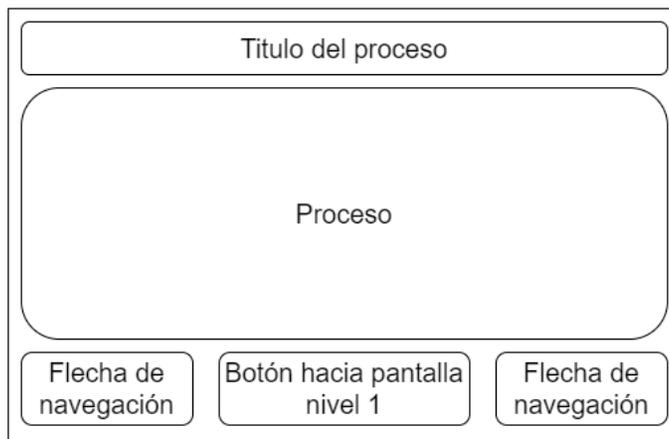
Pantalla de nivel 1 del HMI



En la Figura 71 se puede observar el diseño de las pantallas de nivel 2, de aquí se puede navegar hacia la pantalla de nivel 1, las pantallas de nivel 3 o sobre el mismo nivel.

Figura 71

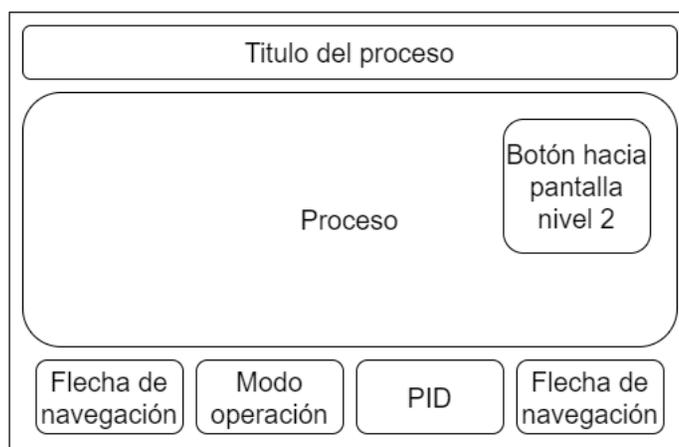
Pantalla de nivel 2 del HMI



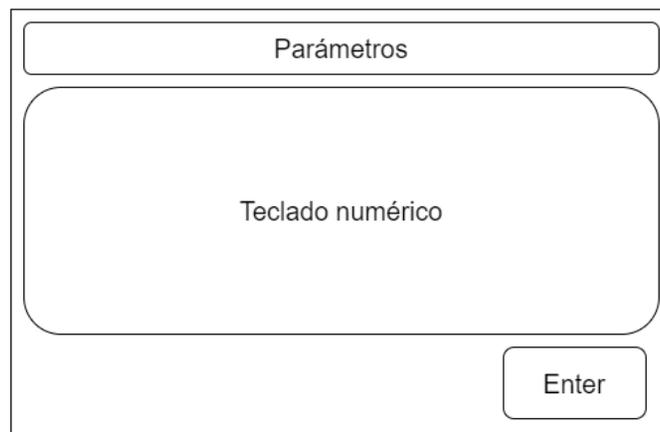
En la Figura 72 se puede observar el diseño de las pantallas de nivel 3, de aquí se puede navegar hacia la pantalla de nivel 2, las pantallas de nivel 4 o sobre el mismo nivel.

Figura 72

Pantalla de nivel 3 del HMI



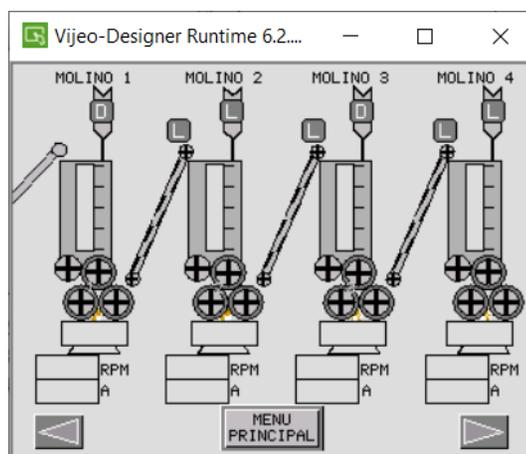
En la Figura 73 se puede observar el diseño de las pantallas de nivel 4, para acceder a esta solo se lo puede realizar desde una pantalla de nivel 3, en esta se configura los parámetros necesarios mediante el teclado numérico.

Figura 73*Pantalla de nivel 4 del HMI*

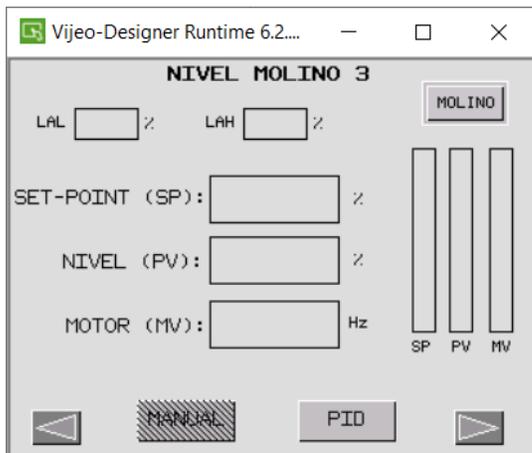
En la Figura 74 se muestran las pantallas rediseñadas de acuerdo al nivel jerárquico explicado en la Figura 65, se siguió como base las plantillas explicadas anteriormente para cada nivel de pantalla. En el Apéndice I se muestra a detalle las demás pantallas HMI diseñadas.

Figura 74*Ejemplo de pantallas del HMI*

a. Pantalla nivel 1



b. Pantalla nivel 2



c. Pantalla nivel 3



d. Pantalla nivel 4

Capítulo IV. SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se describe las simulaciones de comunicación entre el PLC M580, SCADA y pantalla HMI, en las instalaciones de la empresa SEIUS S.A. Es importante realizar las simulaciones para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, conexión entre éstos, evaluar y verificar el comportamiento antes de la implementación física, ya que al momento del montaje e instalación en campo se cuenta con un tiempo reducido, por lo que se lleva todos los materiales y equipos listos para la implementación.

La implementación del proyecto se realizó en la empresa IANCEM en la cabina de control de los molinos Dedini dentro del tablero de control CLP 1. La implementación empieza con el desmontaje y marquillado de los equipos antiguos, seguido del montaje y configuración de los equipos nuevos, para lo cual se establece la arquitectura de red, como se detalló en el capítulo III. Para el ingreso a la planta industrial se debe utilizar los equipos de protección personal.

Conexión entre PLC – SCADA – HMI

Para realizar las simulaciones se dispuso tres PCs. En la primera PC se simula el PLC Modicon M580, en la segunda PC se simula el SCADA y en la tercera la pantalla HMI S5T.

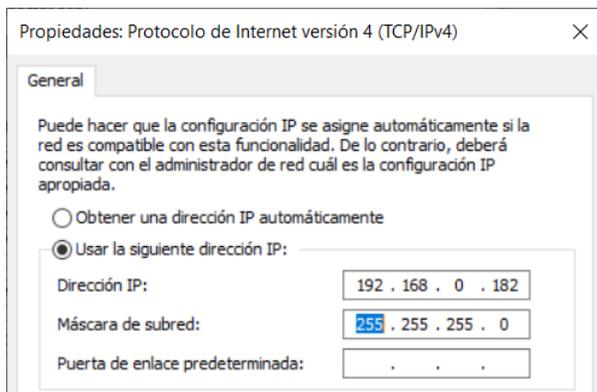
El PLC M580 se simuló en el software Control Expert. En primer lugar, se configura la dirección IP de la PC, como se muestra en la Figura 75, en este caso es la dirección IP 192.168.0.182 correspondiente al PLC. Cabe recalcar que esta IP se establece en la PC por efecto de simulación, ya que en la implementación esta dirección se establece en el PLC.

El SCADA se simuló en el software AVEVA Edge, de manera similar a la configuración anterior del PLC. Se configura la PC con la dirección IP 192.168.0.185 correspondiente al SCADA. La pantalla HMI se simuló en el software Vijeo Designer, se configura la PC con la

dirección IP 192.168.0.184. Estas tres PCs se conectaron en red Ethernet mediante un *switch* de servicio.

Figura 75

Ejemplo de configuración de IP en las PCs simuladas



Se conectó la PC del PLC y SCADA mediante red Ethernet para comprobar la conexión mediante los comandos de Windows, como se muestra en la Figura 76. De manera similar se comprobó la comunicación entre la PC del PLC y HMI como se observa en la Figura 77.

Figura 76

Prueba de conexión entre PLC y SCADA simulado

```

Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.14393]
(c) 2016 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Ingenieria >ping 192.168.0.182

Haciendo ping a 192.168.0.182 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.182: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.182: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.182: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.

Estadísticas de ping para 192.168.0.182:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 3, perdidos = 1
    (25% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms

ca: C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\DELL>ping 192.168.0.185

Haciendo ping a 192.168.0.185 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.185: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.185:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms
  
```

Figura 77

Prueba de conexión entre PLC y HMI simulado

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\Usuario>ping 192.168.0.182

Haciendo ping a 192.168.0.182 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.182: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.182:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms

C:\Users\Usuario>

C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\DELL>ping 192.168.0.184

Haciendo ping a 192.168.0.184 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.184: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.184: bytes=32 tiempo<1m TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.184: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.0.184: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.0.184:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 1ms, Media = 0ms
  
```

Configuraciones para simular el PLC

Para simular el PLC, en el software Control Expert se estableció la modalidad de simulación como se muestra en la Figura 78.

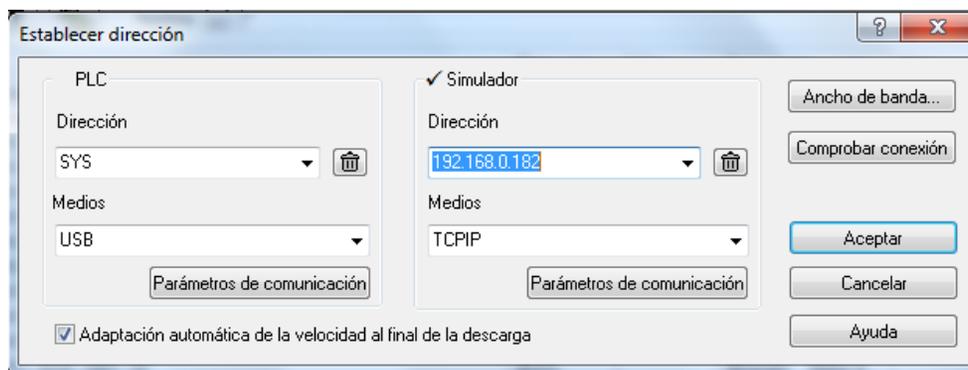
Figura 78

Modalidad Simulación en el software Control Expert



Figura 79

Configuración de la dirección IP del PLC en el software Control Expert



En establecer dirección se ingresa la dirección IP en la sección del simulador como se muestra en la Figura 79, es importante este paso ya que virtualmente se direccionarán las solicitudes del PLC en este puerto.

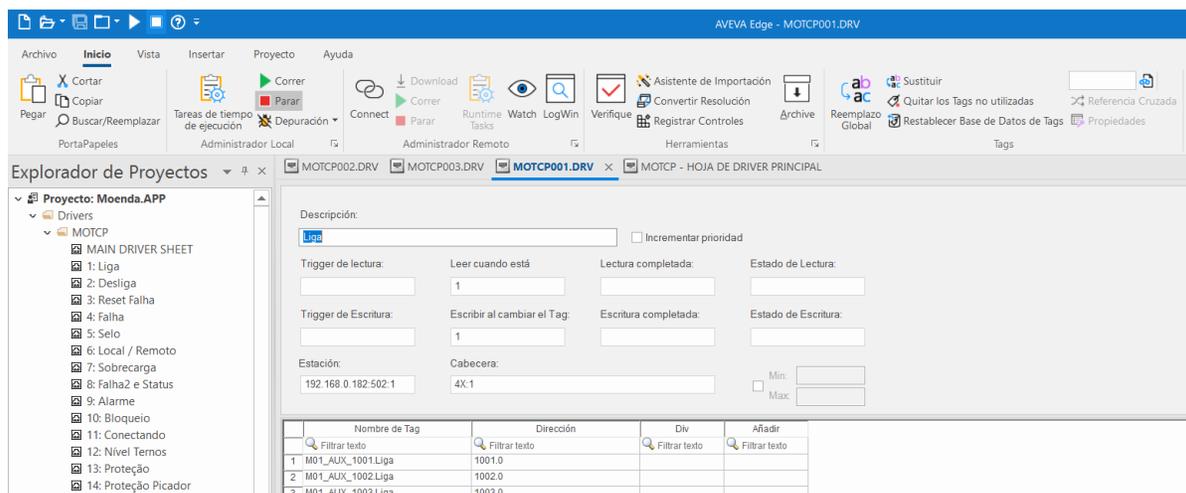
Se regenera el proyecto para identificar errores o advertencias, antes de transferir al PLC. Una vez subido el programa se verifica que el PLC se encuentre en modo Run.

Configuraciones para simular el SCADA

Para simular el SCADA en el software AVEVA Edge se establece la dirección IP del PLC en cada una de las categorías de las variables. En la Figura 80 se muestra la dirección IP establecida y se ejecuta el proyecto.

Figura 80

Ejemplo de direccionamiento apuntado desde el SCADA al PLC en el software AVEVA Edge



Nota. El protocolo Modbus TCP usa el puerto 502 con el ID 1.

Configuraciones para simular la pantalla HMI

Para simular la pantalla HMI en el software de Vijeo Designer se establece la dirección IP del PLC como se muestra en la Figura 68. Una vez comprobado la dirección se simula el programa, basándose en la Figura 81.

Figura 81

Barra de herramientas del software Vijeo Designer



Simulación entre PLC – SCADA – HMI

En el software Control Expert se generó una tabla de animación con variables aleatorias para realizar la comprobación de lectura y escritura entre el PLC, SCADA y HMI, como se muestra en la Figura 82. En la tabla de animación ciertos valores fueron modificados desde el PLC, otros desde el SCADA y también desde la pantalla HMI.

Figura 82

Tabla de animación con variables aleatorias

Nombre	Valor	Tipo	Comentario
M01_AUX_1001_0	0	BOOL	Liga Superv. Motor do Cush - Cush da palha (M-01)
M01_LIC111_SP	5800	INT	Controle de Nivel Terno 1
M01_LIC112_SP	6500	INT	Controle de Nivel Terno 2
M01_LIC113_SP	2500	INT	Controle de Nivel Terno 3
M01_LIC114_SP	4000	INT	Controle de Nivel Terno 4
M01_LIC115_SP	6000	INT	Controle de Nivel Terno 5
M01_AUX_1045_3	1	BOOL	Falha Motor do Picador (M-45)
M01_LIC111_MV	9166	INT	Controle de Nivel Terno 1
M01_LIC112_MV	7500	INT	Controle de Nivel Terno 2
M01_LIC113_MV	0	INT	Controle de Nivel Terno 3
M01_LIC114_MV	4166	INT	Controle de Nivel Terno 4
M01_LIC115_MV	5000	INT	Controle de Nivel Terno 5
M01_LIC117_PV	0	INT	Controle de Nivel de Caldo Misto
M01_LIC118_PV	0	INT	Controle de Nivel de Caldo Filtrado
M01_LIC119_PV	0	INT	Controle de Nivel de Caldo Fabrica
M01_AUX_1031_5	1	BOOL	Local/Remoto Motor da Esteira de Borracha (M-31)
M01_AUX_1034_5	1	BOOL	Local/Remoto Motor da Esteira Intermediária 3 (M-34)
M01_AUX_1016_5	1	BOOL	Local/Remoto Separador Magnético (eletroímã) (M-16)
M01_AUX_1046_5	1	BOOL	Local/Remoto Motor do Desfibrador (M-46)
M01_SI101_PV	0	INT	Rotação do Picador
M01_SI102_PV	0	INT	Rotação do Desfibrador
M01_SI103_PV	0	INT	Rotação do Tambor Alimentador
M01_SI104_PV	0	INT	Rotação do Espalhador

En la Figura 83 se observa la pantalla de Inicio del SCADA donde los valores han sido escritos como los *Set Point* (SP), los *Modificate Variable* (MV) de los molinos y los valores leídos como el actuador M08 que se encuentra en color verde y las alarmas de nivel 1 y 3.

Figura 83

Simulación de pantalla de inicio, con valores escritos y leídos.

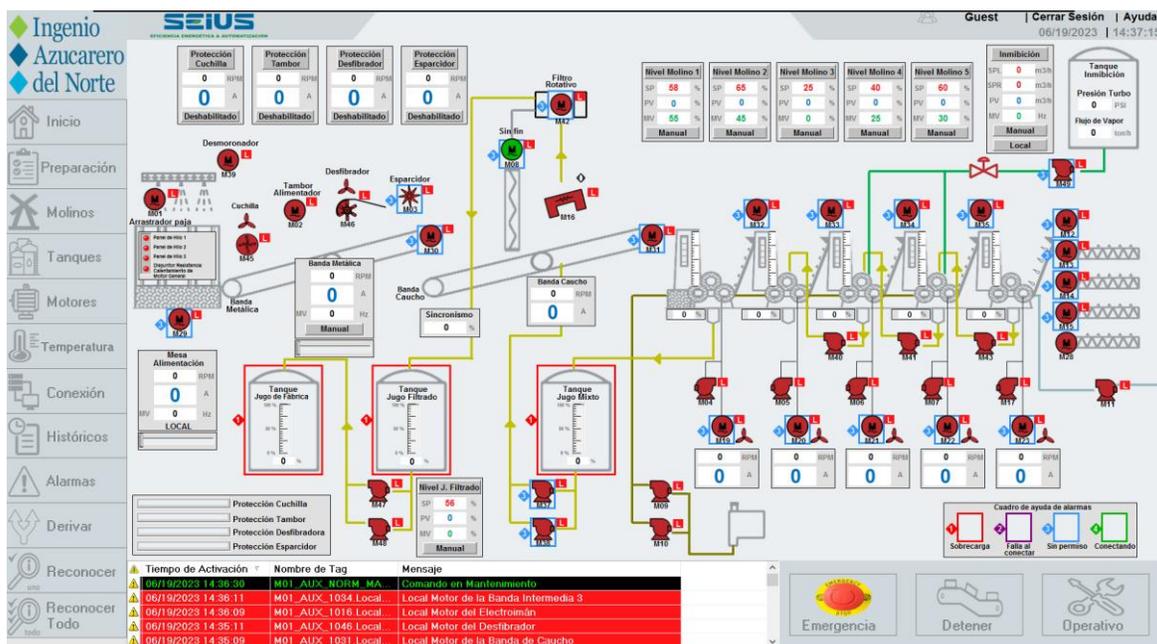
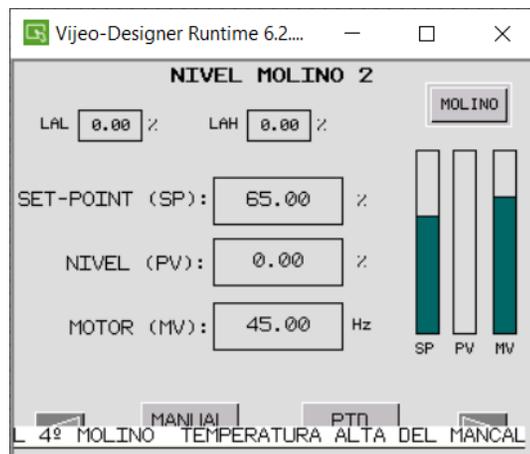
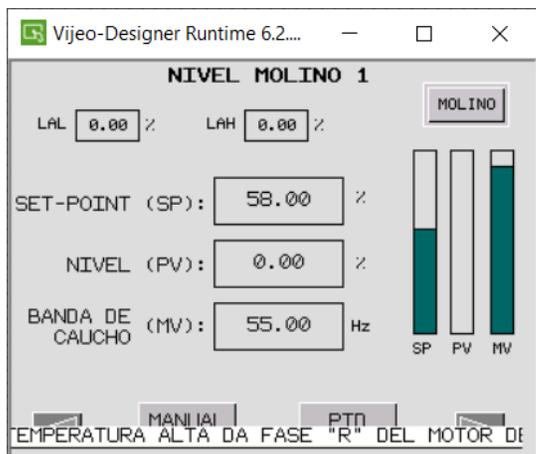


Figura 84

Simulación entre PLC y HMI



En la Figura 84 se puede observar los valores en las pantallas HMI, se puede evidenciar que los valores escritos en el SCADA también son leídos en la pantalla HMI. Estas modificaciones simulan un funcionamiento real en el proceso de molienda.

Montaje de la arquitectura del hardware del PLC Modicon M580

En primera instancia se receptaron los equipos de la cabina de control, las normas de seguridad e indicaciones generales por parte del jefe del departamento eléctrico. Se realiza la identificación y marquillado de los cables que van a ser sustituidos y desconectados. Se continúa con el desmontaje de la arquitectura del hardware del PLC Premium (equipos en estado Legacy), como se muestra en la Figura 85.

Figura 85

Desmontaje de los equipos antiguos



En la Figura 86 se muestra la desconexión de los accesorios terminal a tornillo de 20 puntos y los accesorios conector a telefast, de este último es retirado todo el cable de la canaleta hasta el módulo telefast ABE 7.

Figura 86

Desconexión de módulos del PLC Premium

**Figura 87**

Perforaciones para el nuevo rack



En base a las consideraciones de diseño del Apéndice F se realizó la adecuación en el doble fondo del tablero CLP 1 para el montaje del Rack BMEXBP1200, como se muestra en la Figura 87.

Se efectuó el ajuste de los cuatro pernos que sostienen el rack de 12 posiciones y el montaje de cada módulo del hardware del PLC M580, como se muestra en la Figura 88.

Figura 88

Montaje del hardware del PLC M580



Figura 89

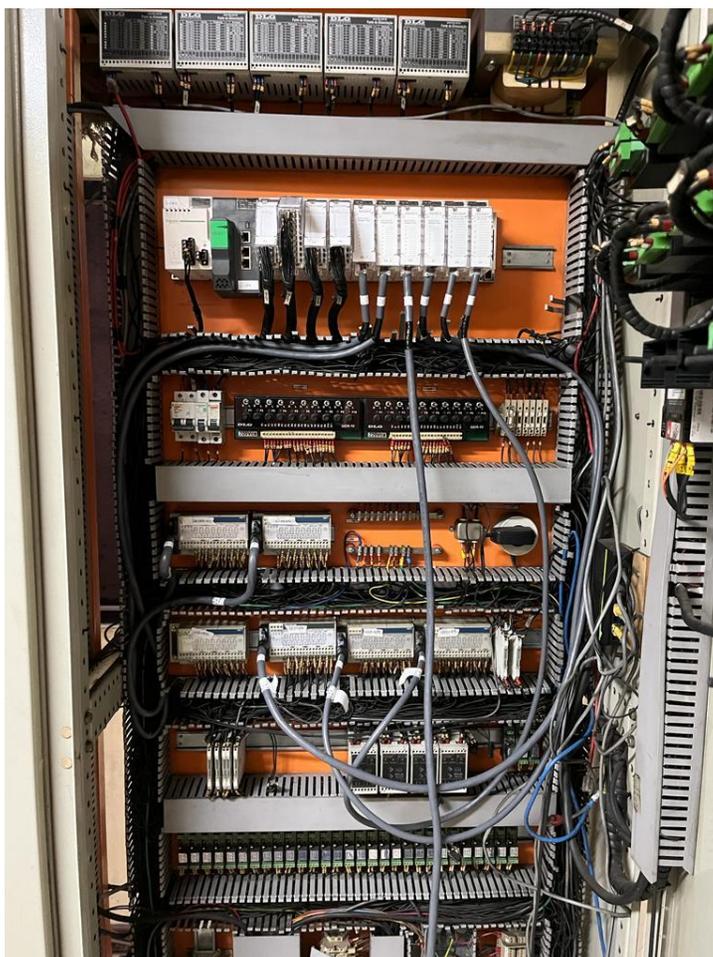
Conexión punto a punto de las señales digitales de E/S



Se desconectó los terminales de las E/S digitales y se inspeccionó el estado de los terminales, tanto el ponchado como el cable. A continuación, se conectó los terminales al nuevo accesorio terminal de 20 puntos, como se muestra en la Figura 89.

Figura 90

Conexión punto a punto de las señales digitales de E/S



En los módulos de E/S analógicos se conectó los accesorios conector telefast, bornero de 28 puntos para las entradas y los accesorios conector telefast, bornero de 20 puntos para las salidas, como se muestra en la Figura 90. El extremo de estos accesorios se conecta a los módulos telefast identificados previamente. Se removió cables que no estaban siendo utilizados

como cables UTP, cable de dos hilos RS232 y cables de control previa solicitud del jefe de mantenimiento eléctrico. Una vez liberados los cables sin uso, se tendió los nuevos cables de red para el módulo Advantys STBNIP2212, PLC M580, Pantalla HMI S5T.

En la Figura 91 se muestra el módulo Advantys STBNIP2212, el cual se sustituyó el medio físico de comunicación y se realizó el mantenimiento de los distintos módulos de E/S tanto digitales como analógicos.

Figura 91

Conexión del módulo Advantys STBNIP2212



Figura 92

Conexión de la pantalla HMI S5T



En la Figura 92 se muestra la conexión de la pantalla HMI por el nuevo medio físico a través de cable Ethernet.

En la Figura 93 se observa el montaje e implementación de la arquitectura del hardware del PLC M580 en el tablero CLP 1, el peinado, marquillado de los nuevos cables de red y control y el mantenimiento general del tablero CLP 1 y CLP 2.

Figura 93

Arquitectura del hardware del PLC M580 implementada



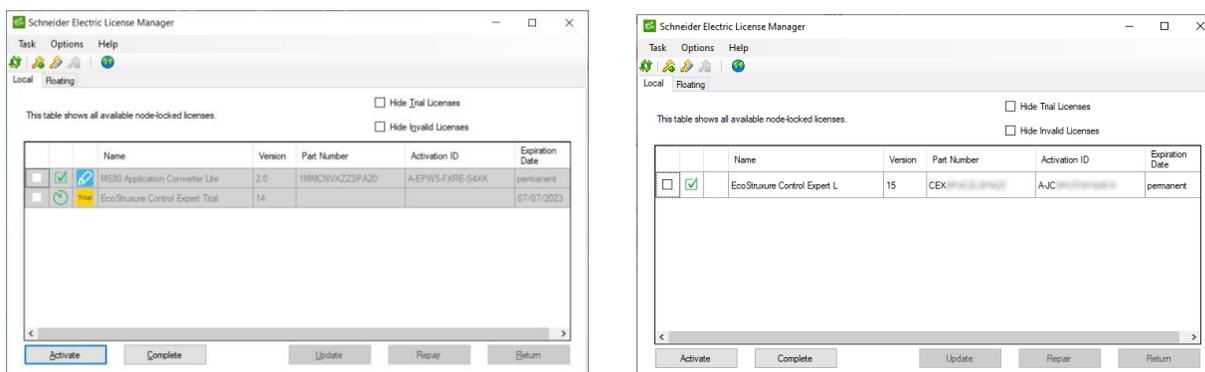
Instalación del software EcoStruxure Control Expert V15.0 en la PC de la cabina de control

En la PC ubicada en la cabina de control de los molinos Dedini se instaló y licenció el software de Control Expert V15.0, con la finalidad de descargar el proyecto hacia el nuevo controlador Modicon M580. Se instaló el programa siguiendo paso a paso el asistente.

La activación de licencia para el software EcoStruxure Control Expert V15.0 se realizó desde el software License Manager de Schneider Electric, se borró la versión de prueba que viene de fábrica y se ingresó los datos correspondientes para una activación en línea, es decir con acceso a internet. En la Figura 94 (a) se muestra el software antes de la activación y en la Figura 94 (b) se muestra el software licenciado.

Figura 94

Software de activación de licencia EcoStruxure Control Expert V15.0



a. Antes de activar la licencia

b. Después de activar la licencia

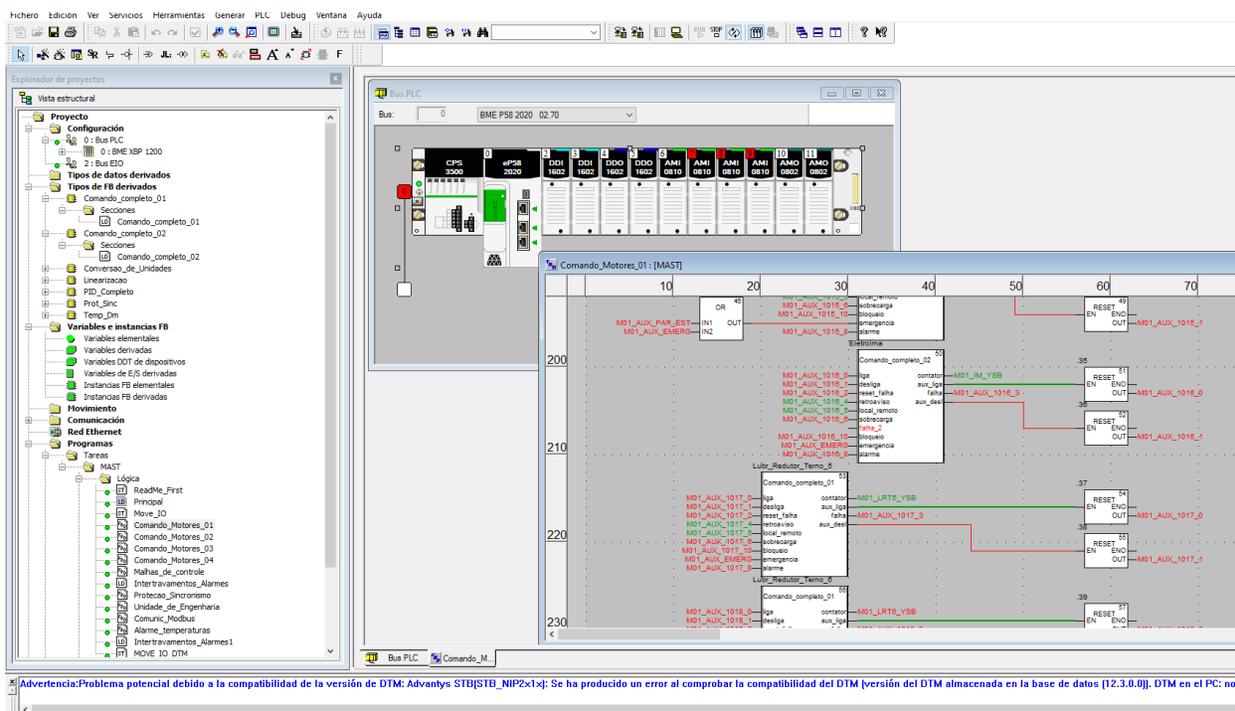
Descarga del programa hacia el PLC M580

Para descargar el programa en el PLC M580 por primera vez se utiliza el cable de programación USB con referencia BMXXCAUSBH018, debido a que no se ha establecido una dirección IP en el PLC. Se selecciona la dirección y el medio como se muestra en la Figura 79 en la sección PLC. Los pasos siguientes son similares a los descritos en el apartado de

simulación, con la excepción que se realiza en modalidad estándar y ya no en modalidad simulación. En la Figura 95 se puede observar el estado de conexión de los módulos en tiempo real.

Figura 95

Conexión en línea con el PLC M580



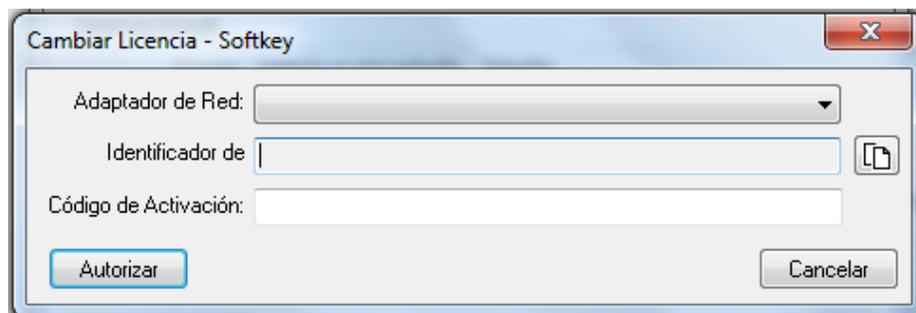
Instalación del software AVEVA Edge 2020 en la PC de la cabina de control

En la PC de la cabina de control se instaló y licenció el software de AVEVA Edge 2020, para poder descargar el programa del SCADA. Se instaló el programa siguiendo los pasos del asistente, incluyendo las librerías que el software solicita.

Para activar la licencia se utiliza la aplicación de AVEVA Edge 2020 Register, en esta se coloca el código de activación de la licencia, como se muestra en la Figura 96.

Figura 96

Código de activación para la licencia AVEVA Edge 2020

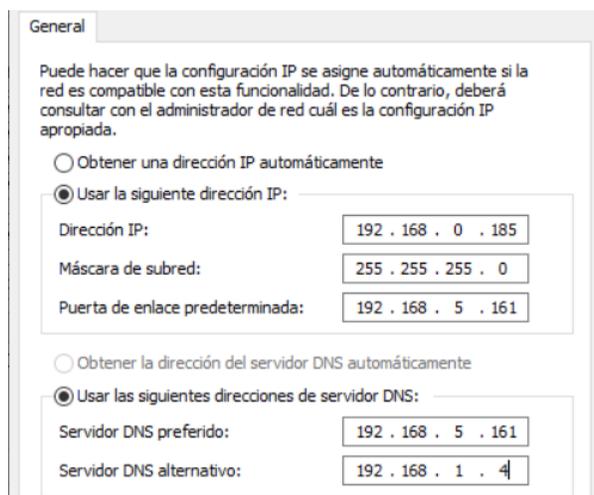


Implementación del SCADA en la PC de la cabina de control

Una vez instalado y licenciado el software de AVEVA Edge se procedió a descargar el proyecto a la PC de la cabina de control. En esta se debe configurar la dirección IP correspondiente al SCADA y también establecer la dirección DNS usada en la red de fábrica de la empresa IANCEM como se muestra en la Figura 97.

Figura 97

Configuración de la IP del SCADA en la PC de la cabina del control

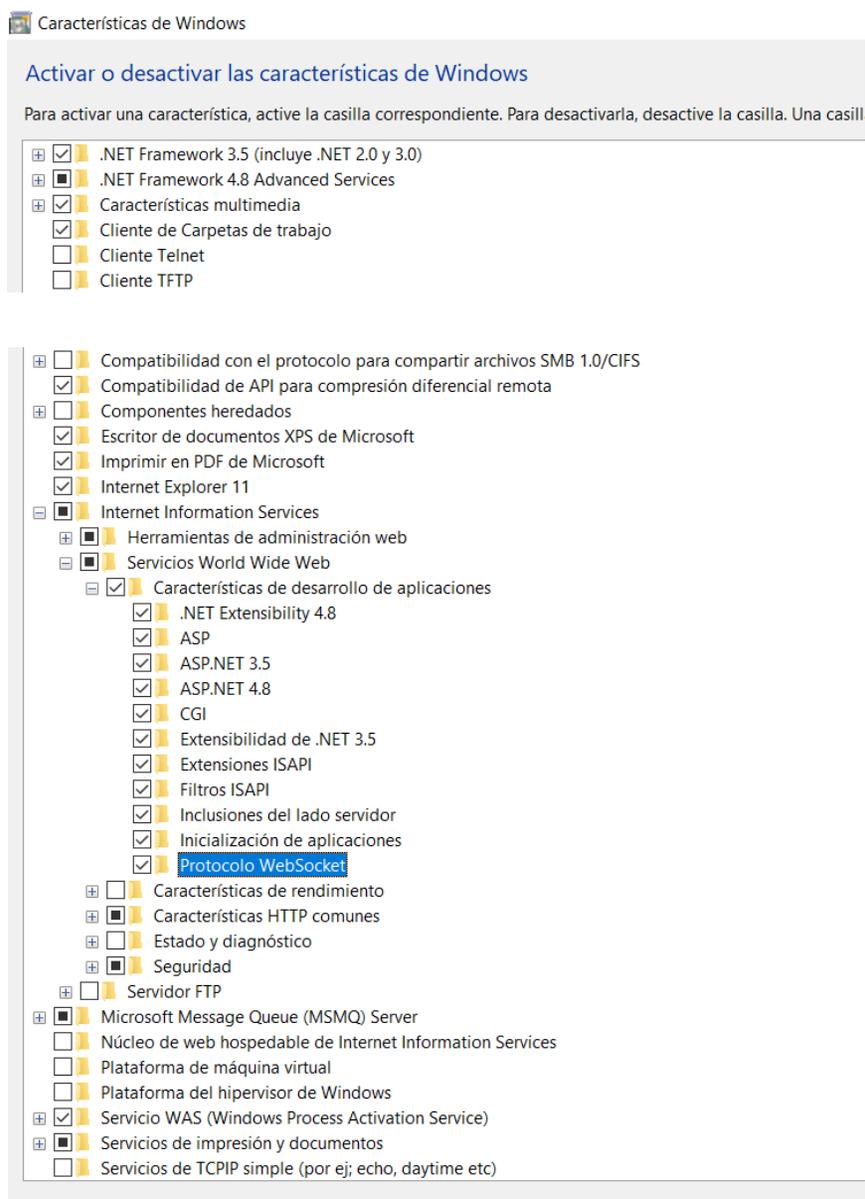


Para ejecutar el programa del SCADA, es necesario activar los servicios IIS en el equipo, como se muestra en la Figura 98. La activación de estos servicios permite que el

software de AVEVA Edge pueda desplegar las aplicaciones en diferentes plataformas, incluyendo dispositivos móviles. La instalación y configuración adecuada de los servicios IIS es fundamental para el correcto funcionamiento del software de AVEVA Edge

Figura 98

Configuración de los servicios IIS

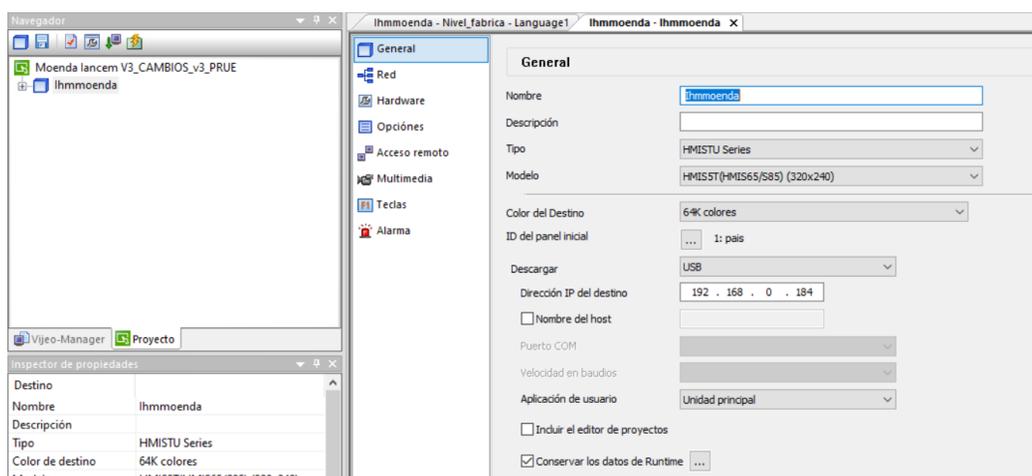


Descargar del programa en la pantalla HMI S5T de la cabina de control

Para descargar el programa rediseñado a la pantalla HMI S5T, primero se nombra el proyecto, se elige el tipo y la serie de la HMI como se muestra en la Figura 99.

Figura 99

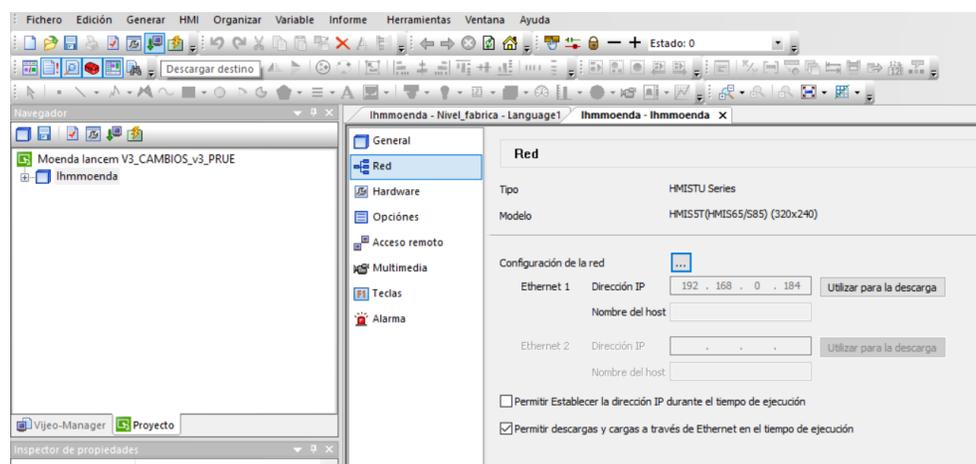
Configuración de la pantalla HMI de la cabina del control



En la Figura 100 se puede observar las configuraciones de red establecidas en la pantalla HMI y así poder descargar el programa.

Figura 100

Descarga del programa hacia la pantalla HMI



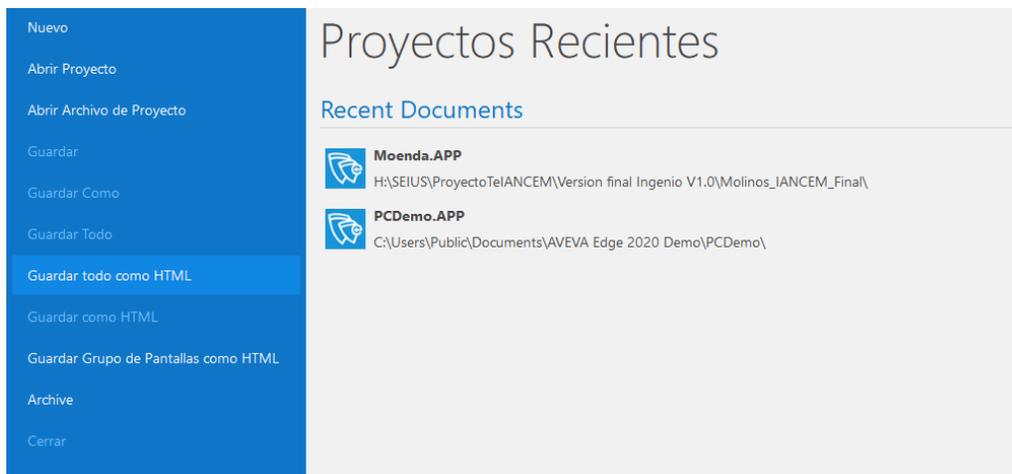
Implementación del cliente web

Dentro de AVEVA Edge 2020, se incluye una función para crear un cliente web. El cliente web es una interfaz de usuario basada en web que permite a los usuarios acceder y controlar sistemas de control desde cualquier navegador web compatible. Esto significa que no se requiere la instalación de software adicional en los dispositivos de los usuarios, ya que pueden acceder al cliente web a través de una URL específica.

El primer paso para crear el cliente web es guardar el proyecto como HTML como se muestra en la Figura 101

Figura 101

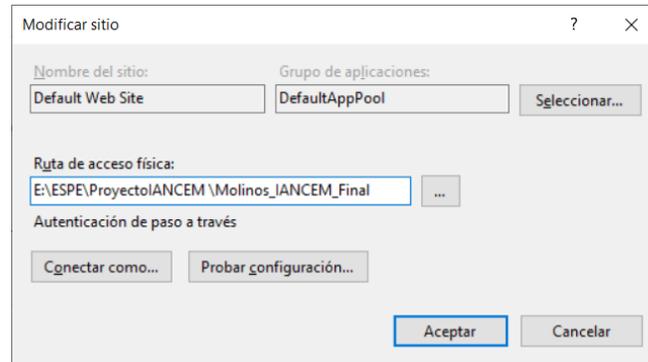
Guardar proyecto SCADA como HTML



Para configurar el cliente web se debe ingresar en el *Administrador Internet Information Services (IIS)* y configurar el sitio, en la ruta de acceso se debe colocar la ubicación del proyecto como se muestra en la Figura 102

Figura 102

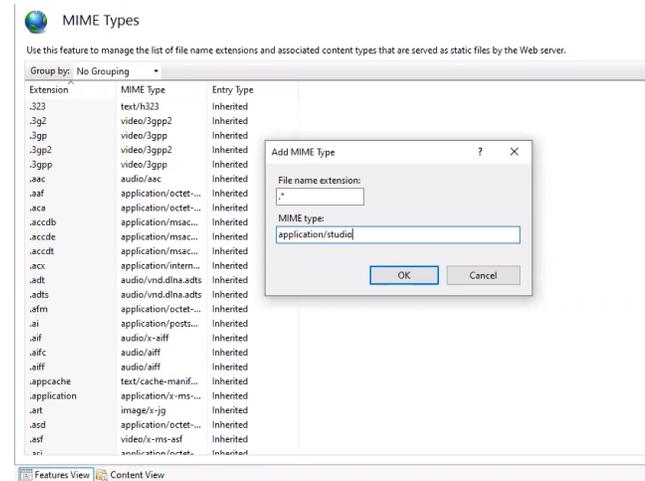
Configuración de la ruta de acceso del proyecto del SCADA



Se agrega los *Mime Types* (*Multipurpose Internet Mail Extensions*) que se encuentran en la ayuda del software de AVEVA Edge, como se muestra en la Figura 103 para que puedan identificar y manejar los diferentes tipos de datos en la web.

Figura 103

Configuración de los mime types



Una vez realizado todos los pasos descritos anteriormente se debe escribir el link en el buscador con la siguiente estructura:

192.168.0.185/AVEVAEdge2020/Index.html?screen=PantallasInicio.SG

Capacitación al personal

En la Figura 104 se puede observar la capacitación que fue realizada al personal de la empresa IANCEM. En la primera parte de la capacitación se habló acerca de las características, ventajas del PLC M580 y nuevas tecnologías que presenta Schneider Electric. Se impartió los conocimientos para el manejo del software Control Expert que permite a los operadores visualizar el estado del PLC M580 en tiempo real, realizar diagnósticos en caso de fallas, asistencia para el mantenimiento y una la posibilidad de un restablecimiento del PLC en caso de situaciones anómalas. En el Apéndice J se detalla información de ayuda para un posible restablecimiento del programa tanto para el PLC M580 y para el programa del SCADA.

Figura 104

Capacitación sobre el PLC M580 al personal de la empresa IANCEM



En la segunda parte de la capacitación se presentó el nuevo software AVEVA Edge donde se ejecuta el sistema SCADA, se impartió la guía de usuario que se indica en el Apéndice H, además se realizó un análisis de la interfaz solventando dudas e inquietudes sobre el funcionamiento. Esta capacitación se impartió en la cabina de control como se muestra en la Figura 105.

Figura 105

Capacitación sobre el SCADA al personal de la empresa IANCEM



Al finalizar la capacitación se aplicó una encuesta de satisfacción a los operadores encargados del proceso de molienda, en el Apéndice K se muestra a detalle los resultados de la encuesta.

Capítulo V. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza las pruebas y se analiza los resultados antes y después del montaje e implementación de los equipos que forman parte del sistema de Control y el sistema SCADA. Las encuestas realizadas a los operadores fueron llevadas a cabo después de quince días de puesta en marcha del proceso de molienda, se muestran mediante gráficos estadísticos los resultados obtenidos de la encuesta de satisfacción. Se siguió un protocolo de pruebas para asegurar la validación de requisitos, detección de errores, aseguramiento de calidad, evaluación de rendimiento y la garantía de seguridad del sistema.

Pruebas FAT

Las pruebas de aceptación de fábrica (FAT, *Factory Acceptance Test*) son un conjunto de pruebas que se realizan en el sitio del proveedor, es decir, en la fábrica, para demostrar que el equipo cumple con las especificaciones de usuario, diseño, producción, seguridad y mantenimiento (Quality By Design, 2018). En este caso estas pruebas fueron realizadas antes de la implementación de los equipos y materiales detallados en el capítulo III.

Figura 106

Montaje de equipos para pruebas FAT



Las pruebas FAT se realizaron en las instalaciones de la empresa SEIUS S.A. como se muestra en la Figura 106, donde se montó los equipos en el laboratorio. En primer lugar, se realizó una inspección visual sobre el estado de los equipos, verificación de códigos de series, entre otros. En la Tabla 10 se resumen los criterios de aceptación en las pruebas FAT, estos fueron establecidos por parte de la empresa IANCEM, bajo los siguientes parámetros:

- Inspección física: Estado del equipo para constatar que se encuentre en buenas condiciones y que el código de serie corresponda con el solicitado.
- Encendido: Al energizar los equipos se comprueba que arranquen sin problema.
- Corte de energía: Se simula un apagón completo y se verifica que al volver a energizar los equipos arranquen sin problema.
- Comprobación de canal de entrada o salida: Para las entradas digitales con el calibrador de procesos se ingresa voltaje (24 V) y se verifica el cambio en el led indicador, para las salidas digitales se realizó un *script* y se forzó las salidas. Para las entradas analógicas se ingresa un nivel de corriente en el rango de 4-20 mA y se verifica el cambio en el led indicador, y para las salidas analógicas se realizó otro *script* donde se escribe valores para las salidas.

Tabla 10

Resumen de pruebas FAT en la empresa SEIUS S.A.

Equipo	Inspección física	Encendido	Corte de energía	Comprobación de canal de E/S
PLC M580	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Equipo	Inspección física	Encendido	Corte de energía	Comprobación de canal de E/S
Rack de 12 posiciones	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Fuente de alimentación	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 16 entradas digitales	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 16 salidas digitales	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 8 entradas analógicas	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 8 salidas analógicas	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
PC para cabina de control	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Monitor	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Pruebas SAT

Las pruebas SAT (*Site Acceptance Test*) se realizan en el sitio donde se instalará el equipo para verificar que cumple con las especificaciones de usuario, diseño aprobado, funcionamiento, producción, seguridad y mantenimiento (Quality By Design, 2018). En la Tabla

11 se puede observar un resumen de las pruebas realizadas en la cabina de control de la empresa IANCEM.

Tabla 11

Resumen de pruebas SAT en la empresa IANCEM

Equipo	Inspección física	Encendido	Corte de energía	Comprobación de canal de E/S
PLC M580	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Rack de 12 posiciones	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Fuente de alimentación	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 16 entradas digitales	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 16 salidas digitales	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 8 entradas analógicas	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Módulo de 8 salidas analógicas	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
PC para cabina de control	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Monitor	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Comisionado de las señales

El comisionado de las señales se llevó a cabo con el jefe de mantenimiento eléctrico, como por ejemplo la señal de nivel del tanque de fábrica. Primero se realizó una inspección física del tubo de nivel donde se observó un 40 % lleno. Después se comprobó eléctricamente la señal del sensor del nivel del tanque que llega a los conectores X1 del tablero CLP 1, como se muestra en la Figura 107. Por último, se comprueba este valor en el SCADA. El mismo proceso se realizó para señales activas.

Figura 107

Comisionado del nivel de tanque de fábrica



Durante el proceso del comisionado de señales existió inconsistencias en algunas señales de sensores de campo, por lo que se verificó en los planos de los tableros CLP 1 y CLP 2 el trayecto de las mismas. Basándose en los planos se verificó que el inconveniente fue a raíz de un fusible del bus de campo, el cual fue sustituido correspondientemente a los valores establecidos en la guía técnica.

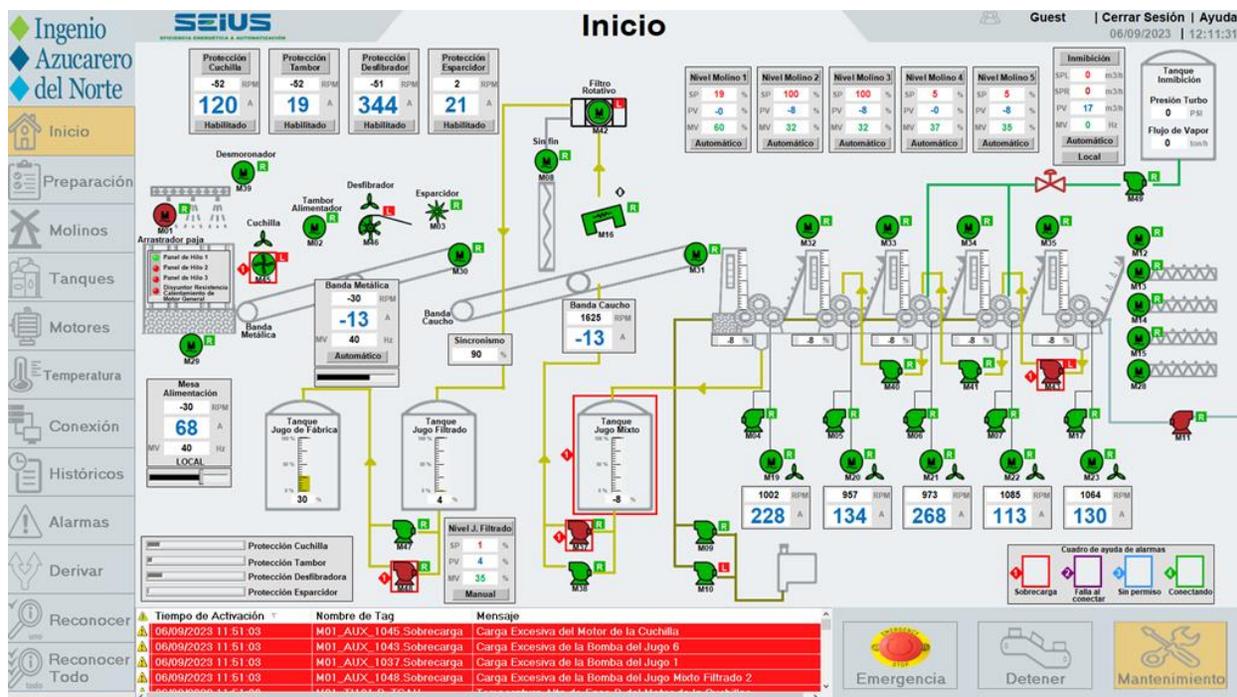
Otro inconveniente presentado fue en el valor del sensor de presión del tanque de imbibición, realizando las inspecciones en base al plano CLP 2 se concluyó que el daño se encontraba en el sensor, por lo que se solicitó el reemplazo de este.

Prueba del SCADA

El SCADA fue probado en estado de Mantenimiento como se muestra en la Figura 108 , esto permite el encendido o apagado de los actuadores a elección del operador, es decir, que no se sigue la secuencia de encendido establecido. Se comprobó que el orden de control dado en el SCADA se refleje en el actuador correspondiente.

Figura 108

Pruebas del SCADA



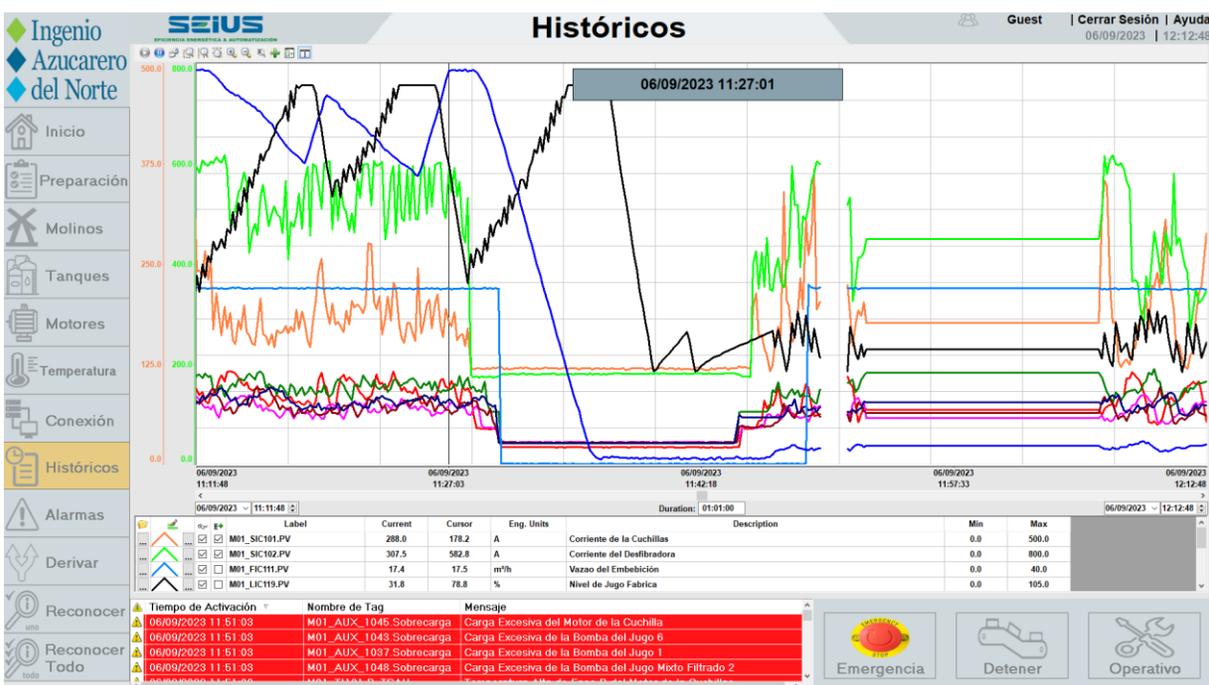
Realizando las activaciones de los actuadores se observó un mal funcionamiento del motor del desfibrador, el cual enclava su encendido físicamente pero no existe el retorno de la variable de confirmación de la acción, por lo que los técnicos eléctricos de turno realizaron una

inspección en el variador que es de donde se genera esta señal y se tuvo como resultado un daño en el módulo de salidas del variador, de modo que la solución del departamento eléctrico fue sustituir el variador.

Se realizó una prueba de forzado del apagado del CPU del SCADA para lo cual se detuvo la molienda por motivos de seguridad e inmediatamente se procedió a operar desde la pantalla HMI, en la figura Figura 109 se muestra los valores históricos de varias señales del proceso, en la parte izquierda se observa las señales de nivel de tanque de fábrica, flujo del tanque de imbibición, corriente de desfibradora y cuchillas entre los valores más elevados, luego se observa una caída en estas señales debido al paro de la molienda, seguido los valores se incrementan por la operación desde la pantalla HMI, a continuación los datos no aparecen debido al apagado del CPU seguido de una estabilización del sistema y posterior operación normal.

Figura 109

Prueba de forzado de apagado del CPU del SCADA



Encuesta de satisfacción

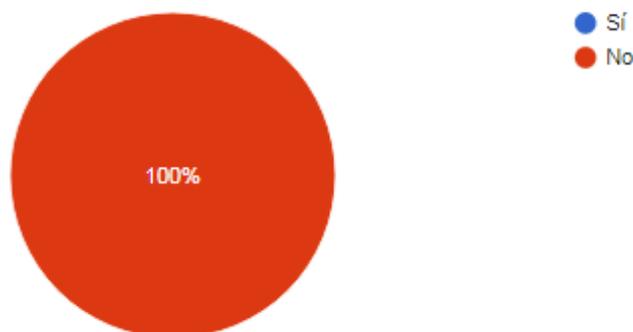
La encuesta realizada al personal de la empresa IANCEM se basó en la norma ISO 9001:2015, la cual se utiliza para demostrar la capacidad para proporcionar productos y servicios que satisfagan las necesidades de los clientes (ISO.org, 2021).

Figura 110

Gráfico de respuestas sobre la operación del proceso

¿Durante la operación del proceso de molienda, ha sufrido algún reinicio, paro o mal funcionamiento del PLC M580, o del sistema SCADA?

6 respuestas



En la Figura 110 se puede observar que el 100% de los operadores manifiestan que ya no se ha tenido paros no deseados, reinicios de los sistemas, lo que le convierte en un sistema más robusto en comparación con los sistemas anteriores.

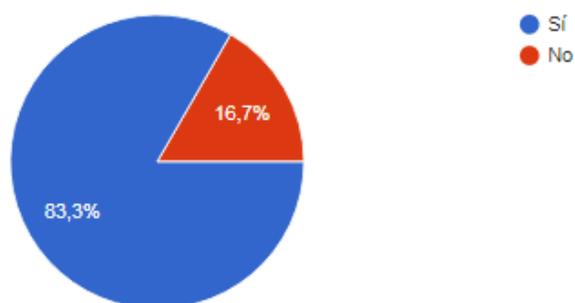
En la Figura 111 se puede observar que para el 83.3% de los operadores es importante monitorear el estado de las variables del PLC en tiempo real para facilitar la detección de errores y una rápida solución sobre las mismas. Únicamente para el 16.7% de los operadores considera que este punto no es importante, pero hay que entender que recién se van familiarizando con el software Control Expert y no dimensionan todo lo que pueden realizar desde el programa del PLC.

Figura 111

Gráfico de respuestas sobre el monitoreo del proceso en el PLC M580

¿Considera usted que el monitorear el estado de las variables del PLC en tiempo real, facilita la detección y solución de errores, así como la reducción de tiempo en etapas de mantenimiento?

6 respuestas



En la Figura 112 el 100% de los operadores consideran que la modernización del PLC M580 ha sido importante, debido a que ya no se tiene reinicios del sistema, pérdidas de información, paros no deseados que interrumpen el proceso de producción, reacción lenta del equipo, entre otras.

Figura 112

Gráfico de respuestas sobre el nuevo PLC M580

¿Considera usted que se han solucionado los inconvenientes presentados en el anterior PLC?

6 respuestas



En la Figura 113 se puede observar que para un alto porcentaje de los operadores, el incluir una pantalla donde se visualiza todo el proceso de molienda les permite controlar y monitorear todos los valores necesarios y así no perder tiempo entre pantalla y pantalla.

Figura 113

Gráfico de respuestas sobre el monitoreo del proceso en el SCADA

¿La nueva pantalla de inicio del SCADA le permitió realizar el monitoreo y control de todo el proceso de molienda?

6 respuestas

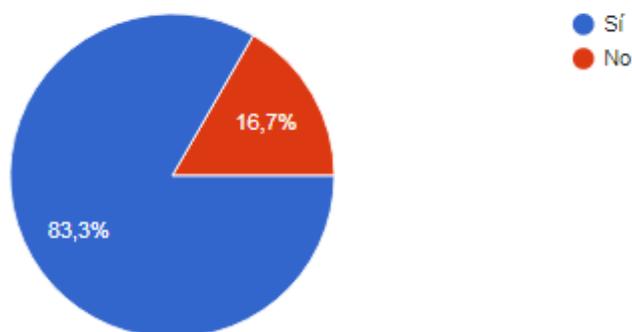
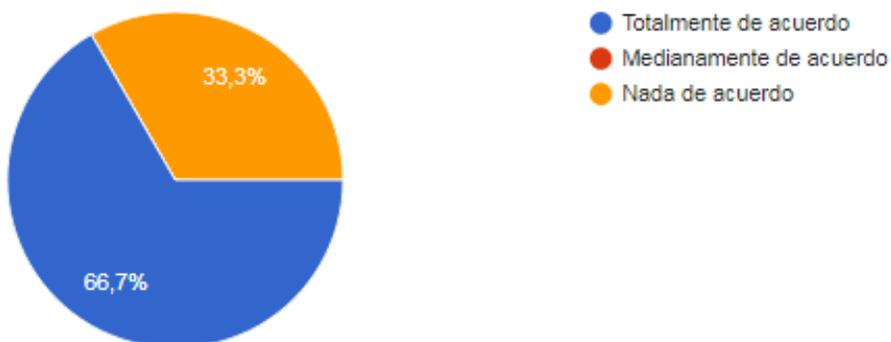


Figura 114

Gráfico de respuestas sobre el estilo de colores utilizado en la pantalla HMI

¿Está de acuerdo con los colores usados en la pantalla HMI S5T y considera que ha disminuido la carga visual?

6 respuestas



En la Figura 114 se puede observar que para un 66.7% de los operadores se ha disminuido la carga visual en la pantalla HMI gracias a los colores utilizados basados en la norma ISA 101. Mientras que para la minoría del 33.3 % se considera que la carga visual es aun alta. Esta respuesta se debe a que el proceso de molienda conlleva varios actuadores, valores gráficos importantes y debido a que la pantalla HMI S5T es de 320x240 pp se trató de compactar todo el proceso.

En la Figura 115 y Figura 116 se puede observar que el 100% de los operadores están de acuerdo con los nuevos íconos y colores usados en el SCADA. En el antiguo sistema se presentaban íconos de los actuadores muy pequeños, difíciles de observar su estado, mal contraste de colores, una pantalla con menor resolución de pixeles. Por lo que se ha hecho énfasis en todos los pedidos que realizaron tanto los operadores como el jefe eléctrico.

Figura 115

Gráfico de respuestas sobre los íconos que se presenta en el SCADA

¿Está de acuerdo con los nuevos iconos de representación de los accionamientos en el SCADA?

6 respuestas

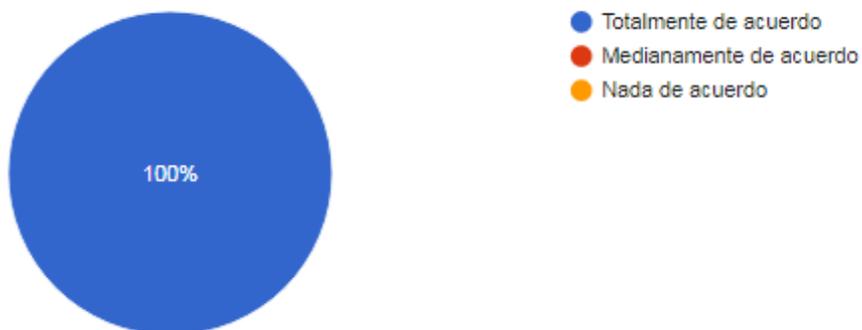
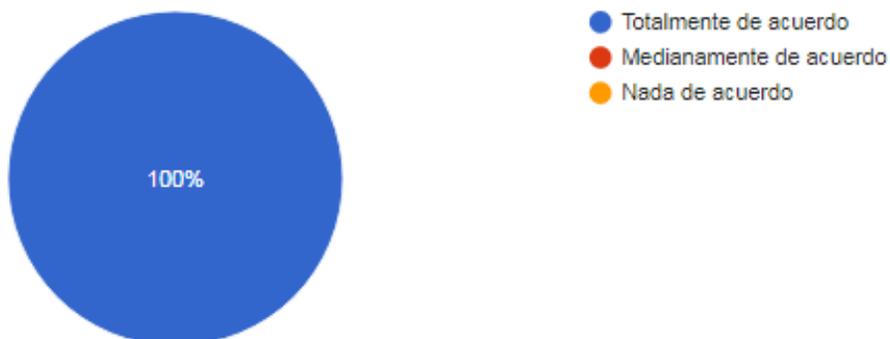


Figura 116

Gráfico de respuestas sobre el estilo de colores que se presenta en el SCADA

¿Está de acuerdo con los colores usados en el nuevo sistema SCADA?

6 respuestas



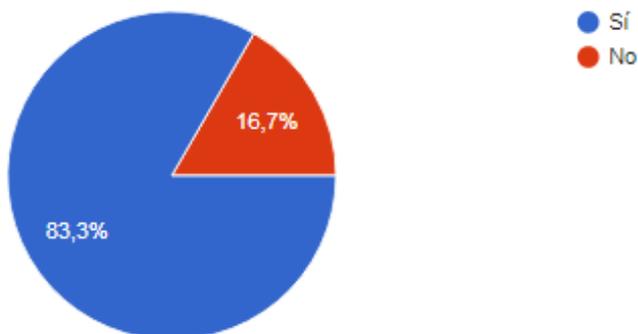
En la Figura 117 se puede evidenciar que para un alto grado de operadores se ha mejorado considerablemente el menú de navegación y la zona de botones de seguridad. Debido a que en el sistema anterior se tenía botones muy pequeños y mezcla de lenguajes tanto en navegación y zona de seguridad.

Figura 117

Gráfico de respuestas sobre menú de navegación del SCADA

¿Considera usted que el área de navegación entre pantallas y de seguridad, ha mejorado la operación en comparación con el sistema anterior del SCADA?

6 respuestas



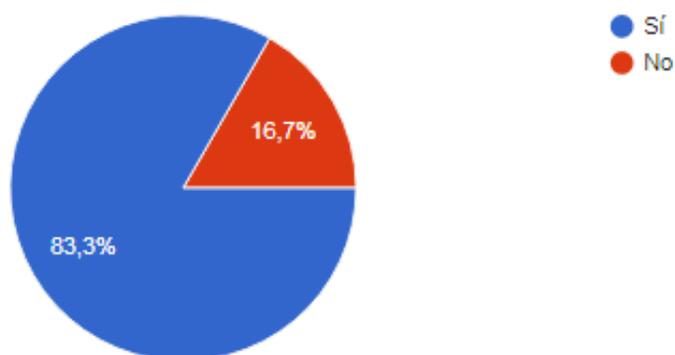
En la Figura 118 se puede observar que el 83.3% de los operadores consideran que se ha disminuido la carga visual del SCADA, esto es gracias al estilo de colores basados en la norma ISA 101, la guía de alto desempeño y la guía interna de la empresa.

Figura 118

Gráfico de respuestas sobre la carga visual que se presenta en el SCADA

¿Considera usted que la carga visual del SCADA ha disminuido, con respecto al sistema anterior?

6 respuestas



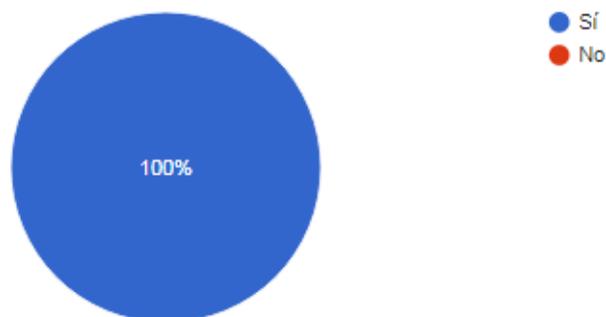
En la Figura 119 se puede observar que para el 100% de los operadores las pantallas del SCADA reflejan semejanza con el proceso real. Los operadores llevan más de 10 años con este proceso de molienda, por lo que tienen amplia experiencia sobre la ubicación de equipos, cableado, posibles mejoras a implementar, entre otras y tener un SCADA semejante al proceso real hace que la molienda sea más eficaz y eficiente.

Figura 119

Gráfico de respuestas sobre la semejanza del SCADA con el proceso real

¿La organización de los equipos en las pantallas del SCADA refleja semejanza con el proceso real?

6 respuestas



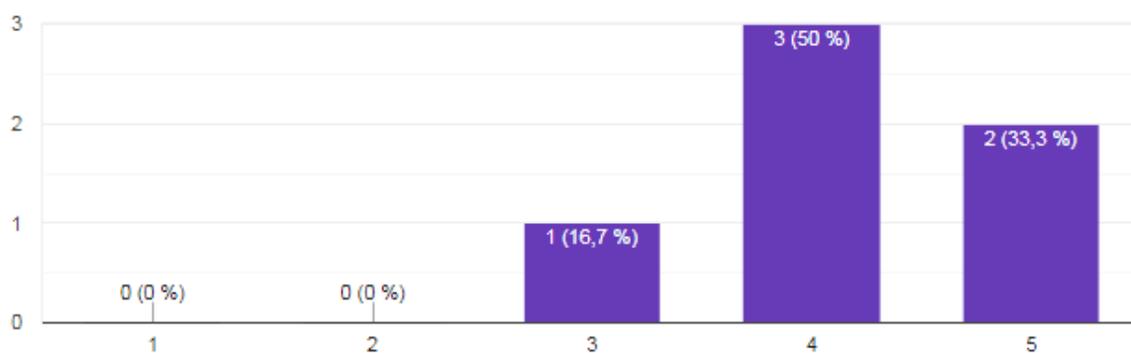
En la Figura 120 se puede observar que el nivel de satisfacción sobre la interfaz de la pantalla HMI S5T se midió a través de una escala lineal, donde 5 es la calificación más alta y 1 la más baja. El 83.3% (5 operadores) de los operadores han calificado con una nota mayor a 4, mientras que el 16.7% (1 operador) han calificado con un 3.

Figura 120

Gráfico de respuestas sobre la calificación hacia la pantalla HMI S5T

¿Qué calificación le daría a la nueva interfaz de la pantalla HMI S5T? Siendo 5 la mejor calificación

6 respuestas



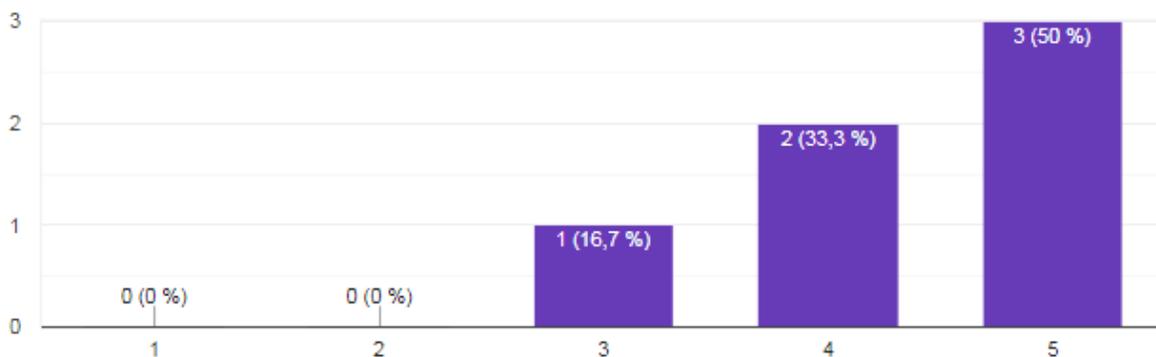
De la misma manera se ha realizado una escala lineal para la calificación del SCADA como se puede observar en la Figura 121, donde se puede observar que el 83.3% (5 operadores) de los operadores han calificado con una nota mayor a 4, mientras que el 16.7% (1 operador) han calificado con un 3.

Figura 121

Gráfico de respuestas sobre la calificación hacia el SCADA

¿Qué calificación le daría al nuevo sistema SCADA? Siendo 5 la mejor calificación

6 respuestas



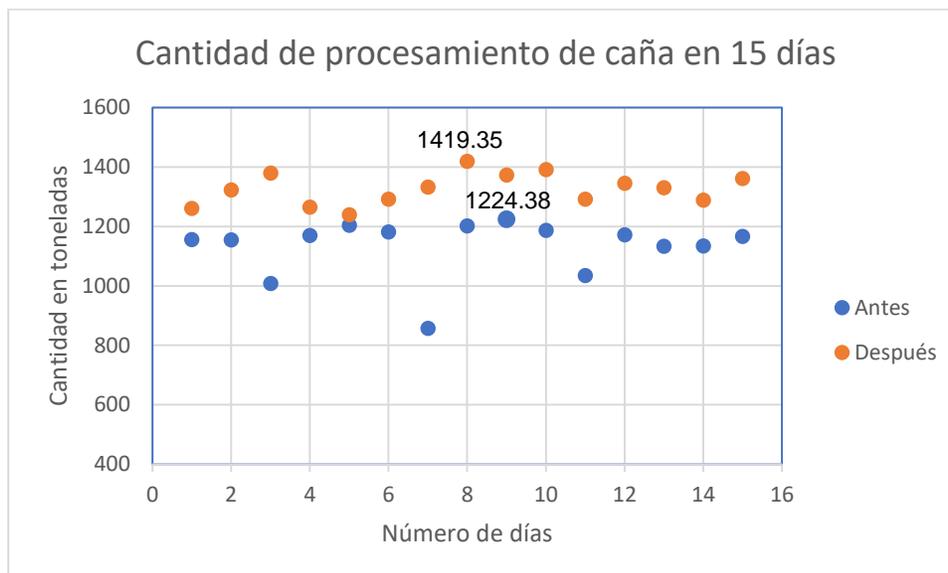
Resultados de producción

Durante los turnos de producción la cantidad de caña procesada es medida en base a un tanque de tarado que es vaciado en función al peso, este proceso se repite varias veces durante los tres turnos de trabajo y los valores de peso son almacenados de manera automática en un sistema externo al SCADA. En la Figura 122 se muestra los valores obtenidos durante 15 días antes y después de la repotenciación del sistema, las fechas corresponden del 1 al 15 de mayo y del 21 de mayo al 04 de junio.

En el tercer y onceavo día antes de la actualización se registran paros por 2 horas debido a fallos eléctricos en el sistema de potencia y en el séptimo día se registra falta de materia prima. En los días después de la actualización no se registran paros por ningún motivo.

Figura 122

Producción antes y después de la repotenciación



El valor total de producción durante quince días antes de la actualización es de 17614.88 toneladas de caña procesada y el total durante quince días después de la actualización es de 19895.21 toneladas. Estos valores muestran un aumento en la productividad del 12%, considerando que no hubieran existido paros de producción por fallas o falta de materia prima en los días previos a la actualización la producción se aproxima con un 9% de incremento, esto significa un aumento de 150 toneladas por día aproximadamente.

Capítulo VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La selección de equipos de última generación presenta ventajas como la comunicación, compatibilidad, escalabilidad, economía, productividad, soporte de la toma de decisiones, mayor seguridad cibernética entre otras. Esto mejora la productividad, la seguridad y la confiabilidad del sistema de control al optimizar su funcionamiento y resultados.
- La eliminación de errores en la programación del PLC y SCADA en los nuevos equipos instalados, ha evitado el tener reinicios, paros o mal funcionamiento durante la operación del proceso de molienda, como lo confirman el 100% de los usuarios en la encuesta de satisfacción. Esto ha permitido reducir los tiempos de paro de producción además de una operación más fluida en el SCADA, lo que se refleja en un aumento de la producción diaria que se aproxima a 150 toneladas es decir un aumento por turno de 50 toneladas de caña procesada.
- La empresa IANCEM realiza mantenimientos del proceso de molienda aproximadamente cada mes, debido a que el sistema trabaja de manera ininterrumpida 24 horas, 7 días a la semana. Desde el área de seguridad del SCADA se puede ingresar en modo mantenimiento lo que significa encender o apagar los distintos actuadores, recibir señales de los sensores, transductores, ajustes necesarios, cambios de piezas, limpieza en general, entre otros. El 83.3% de los operadores han manifestado que se ha mejorado la operación de la interfaz, siendo esta clara y legible en idioma español permitiendo una mejor comprensión de las instrucciones y procedimientos de mantenimiento, los operadores pueden acceder rápidamente y directamente a los manuales, diagramas y datos técnicos. Esto mejora el proceso de

mantenimiento y minimiza el riesgo del personal creando un entorno de trabajo más seguro y protegiendo la integridad física de los trabajadores.

- La sustitución de equipos antiguos por equipos con tecnología de última generación tiene un impacto significativo en la eficiencia y el rendimiento del sistema de molienda. Los equipos modernos ofrecen mejoras en términos de capacidad, velocidad de procesamiento, precisión y confiabilidad. Esto se traduce en una mayor productividad, una mejor calidad de los productos finales y una reducción de los tiempos de inactividad no planificados debido a fallos o averías. Además, los equipos de última generación poseen un mayor nivel de seguridad, el respaldo del soporte técnico, actualizaciones de software más sólidos por parte de Schneider Electric. Esto facilita la resolución de problemas, el mantenimiento y la implementación de mejoras en el sistema a lo largo del tiempo.
- El uso de planos eléctricos proporciona una representación visual clara y detallada para el operador, lo que permite comprender mejor la estructura y funcionamiento del sistema. Por ejemplo, en una etapa de mantenimiento sino llegara una señal se puede apoyar en los planos eléctricos para identificar el trayecto de dicha señal o para nuevos operadores que se integran al equipo brindarles este apoyo, para que puedan identificar rápidamente y poder precisar el o los elementos involucrados en una posible reparación. Además, la utilización de planos eléctricos promueve un mayor nivel de seguridad en el entorno de trabajo. Los operadores pueden identificar rápidamente los circuitos de seguridad, los dispositivos de protección y las señalizaciones relevantes, lo que les permite tomar precauciones adecuadas y minimizar el riesgo de accidentes eléctricos.

Recomendaciones

- Para operadores nuevos o personal de reemplazo por horas en la operación del sistema de molienda, se recomienda realizar una autoinducción con la lectura de los manuales de usuario, del SCADA principalmente y de manera opcional del manual de usuario del PLC, esta lectura puede ayudar a renovar conocimientos debido a los cambios inherentes a la repotenciación y modernización de los sistemas SCADA y PLC.
- Ante la presencia de un error de lectura de alguna variable, se puede descartar en los tableros revisando los planos eléctricos para determinar los puntos de medición con el calibrador de procesos, determinando rápidamente si el error estaría aguas arriba o aguas abajo del tablero de control, considerando siempre los dispositivos de protección como fusibles que pueden impedir que las señales de campo sean recibidas en el tablero.
- Se recomienda realizar las actividades de mantenimiento correctivo en los display's indicadores colocados en las puertas de los tableros, esto debido a que en caso de que se encuentre fuera de línea el PC del SCADA se pueda operar desde la pantalla HMI o de forma manual con base en estos indicadores.
- Brindar a los operadores un entorno de trabajo cómodo y ergonómico, considerando los siguientes puntos:
 - Sillas ergonómicas
 - Escritorio comfortable
 - Mouse ergonómico
 - Teclado ergonómico

La ergonomía es fundamental para el bienestar de los operadores, contribuir a aumentar su productividad y reducir lesiones relacionadas al trabajo.

- Al momento de realizar la operación de mantenimiento se debe tener mucho cuidado si se accede a verificar alguna variable directamente en el programa del PLC, ya que se puede forzar erróneamente cualquier actuador y este puede activarse atentando contra la integridad de algún operador.

Trabajos futuros

Como trabajos futuros se plantea la automatización del encendido secuencial del sistema de molienda, reduciendo los tiempos que el operador emplea en esta operación, evitando errores y la demanda de concentración y memorización que provoca la búsqueda del actuador que se debe elegir para el encendido en secuencia.

Se plantea realizar una expansión a un sexto molino para disminuir la carga al resto de molinos, por ello se tiene E/S disponibles en el PLC pensando en ese trabajo a futuro.

Integrar cámaras para el proceso industrial, ya que permite analizar videos en tiempo real para detectar defectos o anomalías en el proceso. Sería un punto muy favorable para el mantenimiento y seguridad de los operadores para detectar cosas inusuales u personales dentro de los molinos y así no permitiría arrancar el proceso. Mediante el análisis de imágenes capturadas por las cámaras, la inteligencia artificial puede identificar patrones y tendencias en los datos, lo que permite optimizar los sistemas.

Bibliografía

Alan Dix, J. F. (2003). *Human-Computer Interaction*. Pearson.

ANSI/ISA-101. (2015). *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*. North Carolina: American National Standard.

AVEVA Group Limited. (2021). *AVEVA*. <https://www.aveva.com/es-es/products/edge/>

Benmessaoud, F., Lemlouma, T. & Bhiri, S. (2018). SCADA Systems for Power Grids: Features, Challenges and Potencial Solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 650-675. 10.1109/COMST.2017.2772683 .

Bill, R., Hollifield, D. & Ian, N. (2008). *The High Performance HMI Handbook: A Comprehensive Guide to Designing, Implementing and Maintaining Effective HMIs for Industrial Plant Operations*. ISBN 0977896919: PAS.

Brunete, A., San Segundo, P., & Herrero, R. (2020). *Introducción a la Automatización Industrial*. Madrid. https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/

Caicedo, J., Varón, D. y Díaz, F. (2015). Redes Industriales. *Vector* , 7(2012), 12-17. ISSN 1909 - 7891.

Canal Schneider Electric España. (3 de junio de 2019). *¿Cómo configurar una isla Advantys STB con DTM en M580? [Archivo de Video]*. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=_VR4HqplS48

Control Real Español. (17 de enero de 2019). *P&ID Diagramas de Tuberías e Instrumentación*. <https://controlreal.com/es/diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion-pid/>

García, E. (2009). *Automatización de Procesos Industriales*. Valencia: Byprint Percom, sl.

- García, V. y Rioja, M. (2014). *Automatización Industrial: Controladores Lógicos Programables (PLC)*. Paraninfo.
- Hackworth, J. & Hackworth, F. (2004). *Programmable Logic Controllers: Programming Methods and Applications*. Prentics Hall.
- https://doi.org/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36512324/eBook__PLC_Programming_Methods-libre.pdf?1423050486=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3De_Book_PLC_Programming_Methods.pdf&Expires=1686265552&Signature=bNePIngDhLACNpN7uVuged3vs028wS2B0ijr3b-UR
- IANCEM. (2012). *Respaldo del Sistema de Control y SCADA*.
- Ingenio Azucarero del Norte. (2019). *Página de inicio corporativa*. Retrieved 16 de enero de 2023, from <https://www.tababuela.com/>
- Intech. (12 de febrero de 2019). *Características del Estándar ANSI/ISA - 101.02 - 2015: Interface Humano - Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos*. <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-012015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>.
- ISO.org. (2021). *ISO 9001*. <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>
- JABSCO. (2015). *Commercial duty water puppy*. Cadana.
- Krutz, R. (2011). *Industrial Automation and Control System Security Principles: Protecting the Critical Infrastructure*. Wiley-IEEE Press.
- Mendez, P. (2019). *Guía GEDIS*.
- Millor, N. (2011). *Controladores industriales inteligentes*.

- Oliva, N., Castro, M., Orueta, G., Pérez, F., Fernández, F., Ruíz, E., Paya, V., Blanes, F., Albero, T., Climent, S., Colom, P., Armengol, F., García, M., Castillo, J., Espiñeira, P., Gómez, M., González, F. y Bayón, R. (2013). *Redes de Comunicaciones Industriales*. Madrid: ISBN 978-84-362-6549-1.
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4TKJ9lpMSJEC&oi=fnd&pg=PP1&dq=redes+industriales&ots=gUGwzuLlxv&sig=0_Vp4QY94S9v_fwHPIrGueM5kAE#v=onepage&q=redes%20industriales&f=false.
- Pérez, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 3-14. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n4/0379-3982-tem-28-04-00003.pdf>.
- Quality By Design. (7 de Noviembre de 2018). *Pruebas FAT y SAT son iguales que IQ y OQ?*
<https://www.qbd.lat/pruebas-fat-y-sat/?v=42983b05e2f2>
- Ramos, R. y Santos, S. (2015). *Simulador para el protocolo de comunicación industrial Ethernet/IP*. [Tesis de Diplomado, Universidad de las Ciencias Informáticas]:
https://repositorio.uci.cu/bitstream/123456789/7396/1/TD_08187_15.pdf.
- Rodríguez, A. (2012). *Sistemas SCADA*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Rodríguez, J. (2012). *Buenas Prácticas para el Diseño de HMI de Alto Rendimiento*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica de Bolívar].
<https://doi.org/https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/536/0063148.pdf?sequence=1>
- Ruiz, A., Barandica, A. y Guerrero, F. (2004). Implementación de una Red MODBUS/TCP. *Ingeniería y Competitividad*, 6(2), 35-44.
https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2277.

Sánchez, J. (2012). *Tableros de distribución: Diseño y montaje*. México: Limusa.

Scheiner Electric. (2023). *Subbase de conexión ABE7*.

<https://www.se.com/es/es/product/ABE7CPA02/subbase-de-conexi%C3%B3n-abe7-para-la-distribuci%C3%B3n-pasiva-de-8-canales/>

Schneider Electric. (2019). *Presentación de Ethernet Industrial*. https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m262prg/m262prg/Industrial_Ethernet_Manager/Industrial_Ethernet_Manager-2.htm

Schneider Electric. (2023). *Advantys STB*. <https://www.se.com/co/es/product-range/606-advantys-stb/#documents>

Schneider Electric. (2023). *Advantys Telefast ABE 7*. <https://www.se.com/cr/es/product-range/603-advantys-telefast-abe-7/>

Schneider Electric. (2023). *BMEXBP1200*. M580,Rack Eth 12 Pos:

<https://www.se.com/es/es/product/BMEXBP1200/m580rack-eth-12-pos/>

Schneider Electric. (2023). *Cable USB industrial, 1.8 m*.

<https://www.se.com/es/es/product/BMXXCAUSBH018/cable-usb-industrial-18m/>

Schneider Electric. (2023). *Licencia EcoStruxure Control Expert*.

<https://www.se.com/es/es/product/CEXSPUCZSGPMZZ/license-ecostruxure-control-expert-small-s-group-3-users-paper-license/?range=548-ecostruxure-control-expert-unity-pro>

Schneider Electric. (2023). *M340, 08 EA 16b, Aisl, 10V, 20mA*.

<https://www.se.com/es/es/product/BMXAMI0810/m34008-ea-16baisl10v20ma/>

Schneider Electric. (2023). *M340, Bornero 20P+Conector Telefast 1.5m.*

<https://www.se.com/es/es/product/BMXFTA152/m340bornero-20p+conector-telefast-1-5m/>

Schneider Electric. (2023). *M340, Bornero 28P+Conector SUB-D25_1.5m.*

<https://www.se.com/es/es/product/BMXFTA150/m340bornero-28p+conector-subd251-5m/>

Schneider Electric. (2023). *Módulo de Alimentación BMXCPS3500.*

<https://www.se.com/co/es/product/BMXCPS3500/m%C3%B3dulo-de-fon-te-de-alimenta%C3%A7%C3%A3o-m340-100-240-v-ca-36-w/>

Schneider Electric. (2023). *Módulo de entrada digital M340, M580 - 16 entradas - 24 V CC*

positiva. <https://www.se.com/mx/es/product/BMXDDI1602/m%C3%B3dulo-de-entrada-digital-m340-16-entradas-24-v-cc-positiva/>

Schneider Electric. (2023). *Módulo de procesador, Modicon M580, Level 2, Distributed.*

<https://www.se.com/es/es/product/BMEP582020/m580cpueth2048d512anorio/>

Schneider Electric. (2023). *Módulo de salida analógica X80 - 8 salidas BMXAMO0802.*

<https://www.se.com/pe/es/product/BMXAMO0802/m%C3%B3dulo-de-salida-anal%C3%B3gica-x80-8-outputs/>

Schneider Electric. (2023). *Módulo de salida digital M340, M580 - 16 salidas.*

<https://www.se.com/co/es/product/BMXDDO1602/m%C3%B3dulo-de-sa%C3%ADda-digital-m340-16-sa%C3%ADdas-estado-s%C3%B3lido-24-v-cc-positiva/>

Schneider Electric. (2023). *Pasarela Ethernet.* [https://www.se.com/es/es/product/EGX150/link-](https://www.se.com/es/es/product/EGX150/link-150-pasarela-ethernet-2-puertos-ethernet-24-v-dc-y-poe/)

[150-pasarela-ethernet-2-puertos-ethernet-24-v-dc-y-poe/](https://www.se.com/es/es/product/EGX150/link-150-pasarela-ethernet-2-puertos-ethernet-24-v-dc-y-poe/)

Schneider Electric. (2023). *Terminal a tornillo 20 puntos circulares*.

<https://www.se.com/ar/es/product/BMXFTB2010/m340-terminal-a-tornillo-20-puntos-cir/>

Schneider Electric. (2023). *Vijeo designer*. <https://www.se.com/es/es/product-range/1054-vijeo-designer/#overview>

Spurgeon, C. & Zimmerma, J. (2014). *Ethernet: The Definitive Guide, 2nd Edition*. O'Reilly Media, Inc.: ISBN: 9781449363000.

Stanek, W. (2015). *IIS 8 Web Applications, Security & Maintenance: The Personal Trainer for IIS 8.0 and IIS 8.5*. Createspace Independent Publishing Platform. <https://doi.org/ISBN:1515208877>

UNE-EN ISO 13407. (1999). *Procesos de Diseño para Sistemas Interactivos Centrados en el Operador Humano*. Organización Internación para Estandarización ISO.

Yves, J. (2009). *Human-Machine Interface Design for Process Control Applications*. ISA-Instrumentation, Systems, and Automation Society. ISBN: 978-1-934394-35-9.

Zarza, L. (19 de octubre de 2021). *Modicon M580, la solución de Schneider Electric que simplifica las operaciones en las plantas*. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudalimetro-y-cuantos-tipos-hay>

Apéndices

Apéndice A Lista de variables de E/S con su respectivo direccionamiento

Apéndice B Características técnicas de los equipos utilizados

Apéndice C Reprogramación del PLC M580

Apéndice D Reprogramación del Módulo Advantys STBNIP2212

Apéndice E Planos eléctricos modificados

Apéndice F Esquema eléctrico del tablero CLP 1

Apéndice G Solicitud de cambios y mejoras del SCADA por parte del jefe del departamento eléctrico de la empresa IANCEM

Apéndice H Manual de usuario del SCADA

Apéndice I Pantallas del HMI

Apéndice J Manual de ayuda para el PLC Modicon M580 y SCADA

Apéndice K Encuestas de satisfacción