



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA

Bianca Alejandra Jiménez Cifuentes

Asesorado por el Ing. Enrique Sarvelio Ortiz Chial

Guatemala, julio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE
TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BIANCA ALEJANDRA JIMÉNEZ CIFUENTES

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE SARVELIO ORTIZ CHIAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JULIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Cristian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

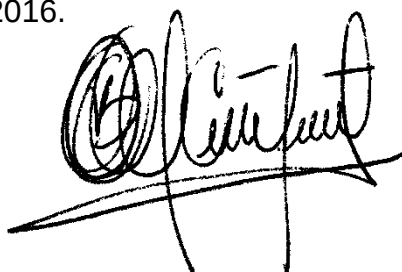
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Helmunt Federico Chicol Cabrera
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Angeles
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha noviembre de 2016.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bianca Jiménez', with a long horizontal stroke extending to the left.

Bianca Alejandra Jiménez Cifuentes

Guatemala, 19 de marzo de 2019

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Revisor de trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por este medio me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA** realizado por la estudiante **Bianca Alejandra Jiménez Cifuentes** con número de carné **200412490**.

Luego de realizadas las revisiones considero que cumple con los objetivos bajo los cuales fue planteado y, por lo tanto, satisfactorio, por lo que procedo a aprobarlo.

Agradezco la atención dada a la presente.

Atentamente,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Enrique Sarvelio Ortiz Chial', is written over a rectangular stamp. The stamp contains some illegible text and a date that appears to be 'MAR 20 2019'.

Ing. Enrique Sarvelio Ortiz Chial
Ingeniero Electrónico
Colegiado 7176
Asesor de trabajo de graduación

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 18 de julio de 2019

Señor Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA**, desarrollado por el estudiante **Bianca Alejandra Jiménez Cifuentes**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



REF. EIME 50. 2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; BIANCA ALEJANDRA JIMÉNEZ CIFUENTES, titulado: GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 11 DE MARZO 2021.



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 302-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR PARA MOLINO DE TRIGO EN LA RED PROFIBUS DE UNA EMPRESA HARINERA**, presentado por la estudiante universitaria: **Bianca Alejandra Jiménez Cifuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Quien siempre ha sido mi guía, mi luz, mi apoyo incondicional en el camino.
Mis padres	Luz María Cifuentes (q. e. p. d.), y Eladio Montesdeoca. Gracias a su esfuerzo y sacrificio llegué a donde estoy.
Mis abuelos	Emilia González (q. e. p. d.), y José María Cifuentes (q. e. p. d.). Por ser también mis padres, por siempre guiarme, aconsejarme, escucharme y enseñarme que las metas se deben alcanzar sin importar el tiempo ni el sacrificio que tomen.
Mis hermanas	Emily Jiménez (q. e. p. d.), y Cinthia Montesdeoca. Por ser mi apoyo en todo momento y nunca dejarme sola, son mi punto de equilibrio.
Mis cuñados	Erick Aguilar y Sergio Hernández. Por siempre incluirme en el presupuesto y dejarme ser parte de sus familias.

Mis sobrinos

Sofía Aguilar, Sarita y Rodrigo Hernández. Por ser la motivación para no dejar de avanzar.

Mis amigos

Con profundo cariño y agradecimiento.

Mis compañeros de estudio

Porque sola no hubiera podido hacerlo todo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi <i>alma máter</i> y permitirme ser una profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme conocimientos y experiencias a través de sus aulas y catedráticos.
Mis hermanas	Emily Jiménez (q. e. p. d.), y Cinthia Montesdeoca.
Emilia González	Por ser mi segunda madre y sé que donde sea que esté, nunca me ha dejado. (q. e. p. d.).
José María Cifuentes	Porque a pesar del tiempo, siempre me está enseñando algo nuevo. (q. e. p. d.).
Mis amigos	Porque siempre que lo he necesitado, han estado conmigo.
Ing. Enrique Ortiz	Por formar parte importante en el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes de la industria harinera en Guatemala	1
1.1.1. Proceso de la harina.....	3
1.2. Antecedentes de automatización industrial en Guatemala	4
1.3. Automatización industrial.....	5
1.3.1. Aplicaciones de la automatización industrial	7
1.3.2. Ventajas y desventajas de la automatización industrial	9
1.4. Controladores lógicos programables	10
1.4.1. Definición de controlador lógico programable PLC.....	10
1.4.2. Arquitectura del PLC.....	11
1.4.2.1. Unidad central de procesos (CPU).	12
1.4.2.1.1. Memorias.....	13
1.4.2.2. Módulos de entradas y salidas	14
1.4.2.2.1. Características técnicas	15
1.4.2.3. Módulos especiales	16

1.4.3.	Unidades de programación	17
1.5.	Redes de comunicación industrial.....	17
1.5.1.	Modelo OSI para las comunicaciones industriales	19
1.5.2.	Tipos de transmisión	19
1.5.2.1.	Transmisión en serie	20
1.5.2.2.	Transmisión en paralelo	20
1.5.3.	Normas físicas.....	21
1.5.3.1.	Norma RS-232	22
1.5.3.2.	Norma RS-422	22
1.5.3.3.	Norma RS-485	23
1.5.4.	Topología de redes	24
1.5.4.1.	Punto a punto	24
1.5.4.2.	Bus	25
1.5.4.3.	Árbol.....	26
1.5.4.4.	Anillo	27
1.5.4.5.	Estrella	28
1.6.	Bus de campo	29
1.6.1.	Buses de campo existentes.....	30
1.7.	Buses de campo Profibus	30
1.7.1.	Antecedentes de Profibus	31
1.7.2.	Descripción de Profibus.....	31
1.7.2.1.	Profibus-FMS (<i>Fieldbus Message Specification</i>)	32
1.7.2.2.	Profibus-DP (<i>Decentralized Periphery</i>).....	33
1.7.2.3.	Profibus-PA (<i>Process Automation</i>)	34
1.7.3.	Características de Profibus	34

1.8.	Software para configuración y parametrización de controladores.....	37
1.9.	Descripción de dosificadores electrónicos para aditivos de harina de trigo en una industria harinera	39
2.	GUÍA PARA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR DE ADITIVOS A LA RED PROFIBUS	41
2.1.	Características eléctricas requeridas del dosificador de aditivos que se va a integrar.....	42
2.2.	Requerimientos de la red Profibus.	45
2.3.	Requerimientos del controlador lógico programable ya existente en la red.	46
2.4.	Softwares requeridos para la programación de los equipos....	46
2.5.	Equipos eléctricos adicionales necesarios para realizar la integración.....	47
2.6.	Instalación eléctrica de los equipos.	47
2.7.	Programación de los equipos.	49
2.8.	Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.....	57
2.9.	Recopilación de resultados.....	59
3.	ANÁLISIS DE COSTOS	61
3.1.	Costos de materiales.....	61
3.2.	Personal a contratar para la ejecución de la obra.	63
3.2.1.	Instalación de alimentador eléctrico del dosificador de aditivos.	64
3.2.2.	Instalación de cableado de comunicación Profibus para la integración del equipo en la red....	64
3.2.3.	Programación de hardware para integración al PLC.....	65

3.2.4.	Programación del bloque de control en PLC del nuevo aditivo.	65
3.2.5.	Programación e integración a la red Profibus del dosificador.	66
CONCLUSIONES.....		67
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA.....		71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Molino harinero de trigo y maíz	2
2.	Estructura típica de un sistema automatizado.....	6
3.	Esquema general de un PLC.	12
4.	Niveles de comunicación.....	17
5.	Transmisión en serie.....	20
6.	Transmisión en paralelo.	21
7.	Configuración esquemática de una red en la norma RS-422.....	23
8.	Estructura de red en forma de punto a punto.....	25
9.	Estructura de red en forma de bus.....	26
10.	Estructura de red en forma de árbol.....	27
11.	Estructura de red en forma de anillo.	28
12.	Estructura de red en forma de estrella.	29
13.	Estructura y tipos de perfiles Profibus.	32
14.	Perfiles, características y aplicaciones de Profibus.....	37
15.	Diagrama simplificado de conexión eléctrica	37
16.	Disposición de equipos en la red Profibus	38
17.	Disposición de alimentador eléctrico dentro del tablero eléctrico del dosificador de aditivos.....	41
18.	Tarjeta base EBD 1312 de conexión en mando MEAG.	42
19.	Puentes enchufables EBD 1312 de conexión en mando MEAG	43
20.	Diagrama de conexión eléctrica	44
21.	Pantalla principal en software STEP 7	45
22.	Vista de cuadro para abrir proyecto existente.	48

23.	Vista opción Examinar en STEP 7	49
24.	Vista de Hardware en STEP 7	50
25.	Vista de todos los dispositivos actuales en la red	51
26.	Vista de equipos cuyos archivos GSD se encuentran instalados en la PC	52
27.	Vista de parámetros de un equipo instalado en la red	53
28.	Vista de opción Función para insertar nueva programación	54
29.	Vista de propiedades del bloque de funciones	55
30.	PLC instalado	56
31.	Vista de opción cargar en STEP 7	57
32.	PLC instalado	58
33.	Vista de opción cargar en STEP 7	59

TABLAS

I.	Dosificador de aditivos para harina de trigo	61
II.	Cable y accesorios Profibus	61
III.	Software de programación para integrar el dosificador a la red	62
IV.	Materiales consumibles	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio
kb/s	Kilobits por segundo
kW	Kilovatios
mA	Miliamperio
mV	Milivoltio
MW	Megavatios
V	Voltaje
VAC	Voltaje de corriente alterna
VDC	Voltaje de corriente continua

GLOSARIO

Autómata	Máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado, normalmente humano, usualmente compuesta por sensores para la detección del entorno y desarrollada para realizar una función determinada.
Memoria ROM	Medio de almacenamiento utilizado en ordenadores y dispositivos electrónicos, que permite solo la lectura de la información y no su escritura, independientemente de la presencia o no de una fuente de energía.
Memoria RAM	Memoria de trabajo de computadoras y otros dispositivos para el sistema operativo, los programas y la mayor parte del software; se cargan todas las instrucciones que ejecuta la unidad central de procesamiento, además de contener los datos que manipulan los distintos programas.
Bit	Unidad de medida para la capacidad de almacenamiento de una memoria digital. Puede tener uno de esos dos valores: 0 o 1.
Byte	Unidad base de información utilizada en computación y en telecomunicaciones; y que resulta equivalente a un conjunto ordenado de bits, generalmente 8 bits.

Word	Cadena finita de bits que son manejados como un conjunto por la máquina. El tamaño o longitud de una palabra hace referencia al número de bits contenidos en ella.
TTL	Sigla en inglés de <i>transistor-transistor logic</i> , es decir, «lógica transistor a transistor». Es una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales, donde los elementos de entrada y salida del dispositivo son transistores bipolares.
TRIAC	Dispositivo semiconductor, es un interruptor digital capaz de conmutar corriente alterna de forma bidireccional.
Encoder incremental	Dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital. Utiliza un disco unido al eje que tiene una gran cantidad de líneas de la parte radial como los radios de una rueda. El interruptor óptico, parecido a un fotodiodo, genera un pulso eléctrico cada vez que una de las líneas pase a través de su campo visual. Un circuito de control electrónico cuenta los pulsos para determinar el ángulo con el cual el eje da vuelta.

Termocopla	Transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia».
RTD	Detector de temperatura resistivo, basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.
PT100	Transductor de tipo RTD, el cual está hecho de platino (Pt) y 100 significa que nos da 100 Ω a 0 °C.
Módem	Dispositivo que convierte las señales digitales en analógicas (modulación) y viceversa (desmodulación), y permite así la comunicación entre computadoras a través de la línea telefónica o del cablemódem.
LAN	Red de área local; es una red de computadoras que abarca un área reducida a una casa, un departamento o un edificio. Para el caso de automatización industrial, su implementación está orientada a desarrollar redes de máquinas industriales para controlar de forma centralizada los procesos industriales.

SCADA

Es un acrónimo de *Supervisory Control And Data Acquisition*, que es como en inglés se denomina al software para computadoras que sirve para controlar, supervisar y maniobrar los procesos industriales a distancia.

Protección IP

El grado de protección IP se refiere a la norma internacional CEI 60529 *Degrees of Protection*, que sirve para clasificar de forma alfanumérica el nivel de protección que tienen los materiales externos de los que están formados los equipos (en general equipos de uso industrial como sensores, controladores, medidores, entre otros) para evitar la entrada hacia los componentes electrónicos de materiales extraños.

RESUMEN

Un sistema autónomo permite controlar maquinarias y procesos industriales, para realizar las tareas repetitivas por medio de equipos especializados, así como supervisión y control en tiempo real de plantas de producción de bienes y consumibles, mejorando la calidad de los productos y disminuir los costos en la producción. Esto se logra por medio del uso del PLC como controlador principal, agregando módulos de entradas y salidas o sistemas de comunicación para integrar todas las señales en una sola red.

En la producción de harina de trigo hoy en día, es necesario agregar a la harina de trigo base algunos aditivos alimenticios, los cuales son sustancias que permiten mejorar las propiedades de la harina (como las vitaminas), la conservación del producto o su adaptación a ciertos usos específicos. Los controladores Bühler permiten el manejo de equipos de dosificación en la industria de harina de trigo, para controlar el flujo de producto y hacer conteo de producto agregado, entre otros.

Los molinos modernos ya cuentan con redes de comunicación industrial en sus equipos, de modo que pueden controlar de forma remota los sistemas, mejorar la calidad de los productos finales manteniendo precisión y exactitud en la producción y disminuir la contaminación de los productos por el error humano. De esta cuenta, agregar un dosificador o cualquier equipo nuevo al sistema de producción, debe considerarse como una ampliación de la red industrial instalada, para poder continuar este trabajo.

Profibus es uno de los buses de campo con mayor implementación, debido a que fue desarrollado con una arquitectura de comunicación abierta basada en el modelo ISO/OSI, para la comunicación de datos, cumpliendo con los requerimientos de automatización y control. Este medio de comunicación es un sistema de transmisión serial, el cual permite comunicarnos con múltiples equipos industriales para que, dadas las condiciones de trabajo especificadas por el usuario, el sistema de forma automática, sepa responder a los requerimientos de la producción.

Al hablar de integración en una red Profibus, nos referimos a agregar a la red existente un equipo nuevo, en este caso un dosificador de aditivos; el sistema es controlado y dirigido por una estación de trabajo local, una PC central, donde el operador decide la forma de trabajo del molino por medio de recetas ya establecidas, en donde aparecen datos como la cantidad de harina a producir, la cantidad de agua para esa producción, los tipos y cantidades de aditivos que es necesario agregar a la harina base para producir dicha receta, entre otros datos a controlar. La red existente es controlada por un PLC central, el cual tiene grabadas las instrucciones a ejecutar según la receta establecida. De esta cuenta, es preferible agregar a la red Profibus existente cualquier equipo electrónico nuevo, de modo que se pueda integrar en la secuencia ya establecida en las recetas de trabajo, para que funcione de forma simultánea y correcta junto con los demás equipos de la red, así es posible producir un producto final con los estándares requeridos, ahorrar tiempo en la producción, realizar controles en línea de la producción y evitar el manejo manual de los equipos, lo que puede conducir a problemas debido al error humano.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía para el entendimiento y facilitación de la integración de equipos de dosificación de aditivos para producción de harina dentro de una red Profibus, para una empresa harinera.

Específicos

1. Establecer las principales características de una red industrial Profibus, aplicadas a una línea de producción dentro de una empresa harinera.
2. Definir los beneficios de tener un sistema automatizado por medio de tecnología Profibus frente a otras tecnologías, como comunicación analógica o digital simple en la producción de harina de trigo.
3. Aplicar la ingeniería electrónica para el cálculo y diseño de sistemas automáticos por medio de tecnología Profibus, dentro de una línea de producción de harina.
4. Aplicar distintos conocimientos adquiridos, como velocidad de transmisión, buses de campo, protocolo de comunicación y tecnología de transmisión, entre otros.
5. Reforzar los conocimientos necesarios para seleccionar, poner en funcionamiento y realizar el mantenimiento de sistemas automáticos.

INTRODUCCIÓN

La automatización de sistemas es un tema antiguo, pues el ser humano desde el principio buscó formas de que algún sistema autónomo hiciera los trabajos repetitivos, de modo que él pudiera enfocarse en otros trabajos. Actualmente, existen varios sistemas de comunicación a nivel industrial, de modo que las máquinas y los equipos reciban instrucciones de trabajo y transmitan información de retroalimentación para un funcionamiento adecuado.

En los molinos de trigo existen diversas tecnologías que se utilizan para comunicar los equipos, señales digitales 1 y 0, señales analógicas de voltaje, señales analógicas de corriente, pero estas tecnologías se quedan limitadas cuando queremos optimizar los sistemas como para saber diagnósticos de los equipos, tiempos de funcionamiento y reducción de cableado, entre otros. Al utilizar equipos con comunicación Profibus podemos mejorar considerablemente estos puntos, ya que podemos enviar todas las direcciones de los trabajos que deseamos realizar por medio de un par de cables y recibir por estos mismos cables, datos como errores en los equipos, conteo de producto, tiempo de trabajo, entre otros. Esto se traduce en optimización del proceso, pues ahorramos tiempo, tenemos sistemas más confiables y podemos hacer verificaciones en línea, entre otros.

Para integrar un equipo de control nuevo dentro de un bus de campo Profibus ya existente es necesario seguir ciertos pasos y criterios, para que el equipo sea funcional y trabaje adecuadamente.

A continuación, se presenta una guía para integrar adecuadamente un controlador Bühler de un dosificador de aditivos en la red Profibus ya existente en un molino de trigo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la industria harinera en Guatemala

Los orígenes de los molinos de trigo para producción de harina se remontan a épocas primitivas, posiblemente de forma manual usando morteros o machacando los granos entre dos piedras planas. A partir de esto, se inventaron y mejoraron distintos tipos de molinos a lo largo de la historia y según las diferentes culturas que han existido.

Las referencias mencionan los inicios de los molinos de trigo tipo industriales en Guatemala y los sistemas actuales de producción de harina a principios de 1990, principalmente en el occidente del país, aprovechando que ya existía el cultivo de trigo en esa región, pero con el paso del tiempo, algunas empresas decidieron trasladar sus operaciones a la ciudad de Guatemala. En la década de 1960 se creó el decreto 1490 y fue fundada la Gremial Nacional de Trigueros, con sede en Quetzaltenango, como medida para defender los intereses de los pequeños productores frente a los grandes molinos que ya estaban consolidados en el país; dicha gremial desapareció en 1997 cuando se derogó el decreto. Esta situación conllevó a la desaparición de algunos molinos que no tenían buena sostenibilidad económica, ya que la gremial establecía aspectos como precios, condiciones de pagos e impuestos, entre otros. Se puede decir que esto dio inicio a una nueva era en la molinería de Guatemala.

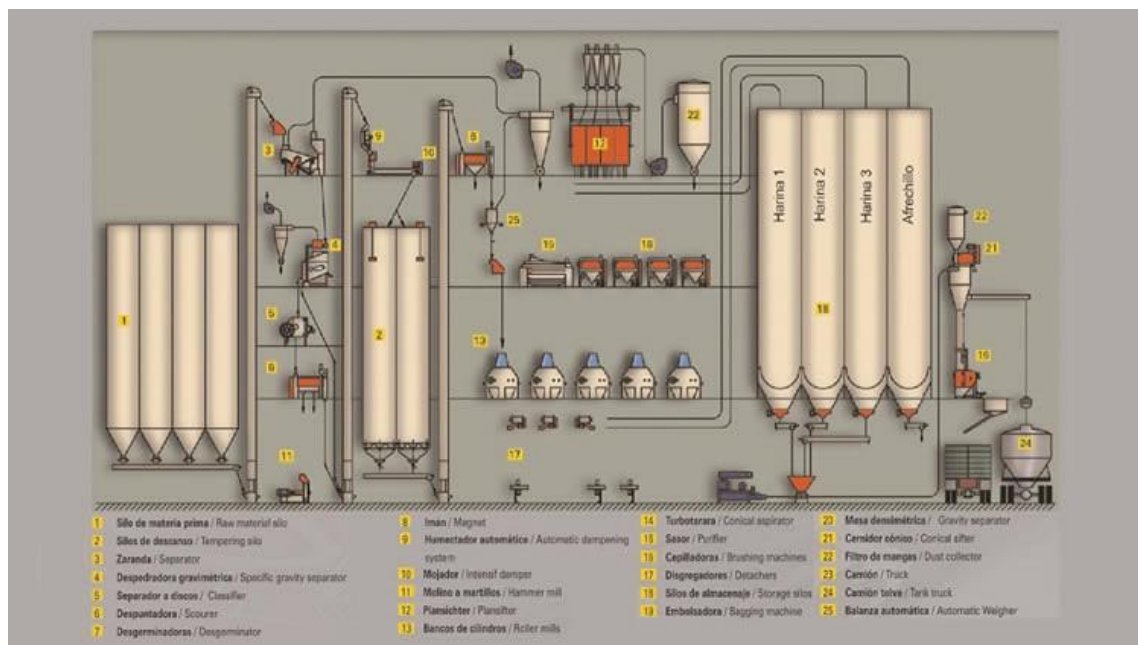
Recientemente, han existido cambios en cuestiones como aranceles, facilidades de importación y exportación con países centroamericanos, lo que lleva a tener industrias guatemaltecas expandiéndose a nivel regional, así como

el ingreso de industrias y capital extranjero a Guatemala, lo que hace el mercado actual mucho más competitivo y exigente.

Empresas como Molino Venecia, Corporación Multi Inversiones en su unidad de negocio Molinos Modernos o la unión Molinos Central-Helvetia, actualmente desarrollan marcas y productos, tratando de estar a la vanguardia tanto en temas de producción, como control y calidad de productos.

Los molinos de trigo industriales actuales cuentan con diversos tipos de maquinarias para realizar los procesos necesarios para la obtención de harina según el tipo de harina a producir, los estándares de calidad de cada productor o el mercado al cual se dirija el producto.

Figura 1. **Molino harinero de trigo y maíz**



Fuente: Prillwitz y Cía SRL. *Molinos harineros de trigo y maíz.*

<https://www.prillwitz.com.ar/molinos-harineros-de-trigo-y-maiz/>. Consulta: septiembre de 2018.

1.1.1. Proceso de la harina

Al inicio, todo el proceso de producción era artesanal, usando la fuerza humana y herramientas básicas, pero actualmente, los procesos han sido automatizados en mayor o menor medida y se intenta que la mano del hombre intervenga lo menos posible, únicamente para la parte de control de los equipos de trabajo; esto para tratar de mantener estándares de calidad e inocuidad de los productos terminados.

Control del producto: cuando se recibe el trigo, se somete a pruebas de laboratorio, para verificar que cumpla ciertos requerimientos.

Almacenamiento: el trigo se almacena en silos. Es importante tomar en cuenta la temperatura y la humedad de almacenamiento.

Proceso de limpieza: se deben retirar elementos externos al trigo, como las piedras, otros cereales, tallos y piezas metálicas, entre otros.

Acondicionamiento del trigo: se agrega agua al trigo y se deja reposar.

Molienda: se realizan trituraciones graduales de los granos de trigo en rodillos especiales según el tipo de harina que se desee producir.

Dosificación de aditivos: dependiendo del tipo de harina producida, se le agregan aditivos especiales o vitaminas para enriquecer el producto.

Ensilados: las harinas producidas quedan en silos de reposo, donde permanecerán a espera de ser pasadas a la sala de pesaje y envasado.

Envasado: varía dependiendo del tipo de harina y de la presentación comercial que se trabaje.

Controles de calidad: se hacen pruebas continuas para asegurar que el producto terminado cumpla con los requerimientos establecidos por el productor.

1.2. Antecedentes de automatización industrial en Guatemala

Desde la prehistoria, la humanidad ha empleado herramientas simples para facilitar el trabajo, ya sea porque son labores muy pesadas y cansadas o para agilizar los trabajos repetitivos y continuos; los sistemas de poleas o palancas son de los más antiguos conocidos. Luego, se aprendieron a aprovechar los recursos naturales, las energías renovables, para sustituir el esfuerzo humano o animal, en tareas simples o repetitivas, lo que también permitió llevar los sistemas a escalas mayores.

Es posible mencionar sistemas automatizados a gran escala en Guatemala que empezaron aproximadamente hace 150 años, como, por ejemplo, la generación de energía eléctrica, que inicia en 1884 cuando se instaló la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, actualmente zona 2 de la capital. Luego, se instaló la hidroeléctrica Palín de 732 KW. Posteriormente, en 1927 se construye la hidroeléctrica Santa María, cuyas turbinas impulsadas por el río Samalá produciría 6 MW de energía eléctrica para alimentar el Ferrocarril Eléctrico Nacional de los Altos.

Otro sistema automatizado es la telefonía en Guatemala, cuyos inicios van de manera oficial en 1884; su primer sistema automatizado consistía en llamar a una estación central, para que ésta lo comunicara con otra persona.

Luego, se instalaron los teléfonos automáticos, con el sistema de disco de comunicación inmediata y actualmente contamos con varias empresas dedicadas a la telecomunicación y transmisión de datos por los distintos medios como microondas y fibras ópticas, entre otros.

Aunque la automatización ha existido desde hace muchos años y que mucho del desarrollo a lo largo de la historia ha sido gracias a esta, hasta mediados del siglo XX todavía se usaban muchos mecanismos simples de automatización. Fue por estas fechas cuando empezó la evolución de las computadoras digitales y conforme fueron mejorando sus tecnologías, se volvieron más veloces, más accesibles en costo, redujeron sus tamaños y se volvieron más sencillas de usar, fue cada vez más factible su implementación en las diferentes industrias de manufacturas y producción, para el control de tareas simples o repetitivas y para retroalimentación de valores críticos dentro de los procesos.

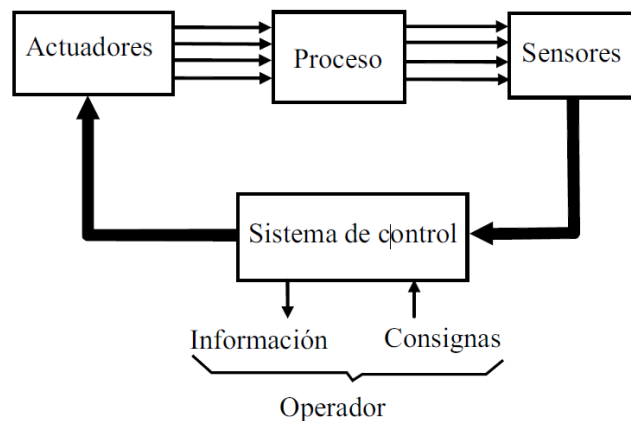
Es conveniente resaltar que la idea de la automatización es ayudar al control de los procesos y a relevar de algunas tareas al operador, no a desplazarlo de sus labores, pues sigue siendo necesario el control manual del proceso, la verificación de la calidad de los productos terminados, la supervisión de personal, las proyecciones y el análisis de mantenimiento de los equipos, entre otros; no existe un autómatas perfecto, que pueda competir con ciertas habilidades humanas.

1.3. Automatización industrial

Se define un sistema automatizado (ya sea máquina o proceso) como aquel capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario) ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas

para cumplir la función para la que se ha sido diseñado. En la figura podemos ver una estructura típica de un sistema automatizado.

Figura 2. **Estructura típica de un sistema automatizado**



Fuente: ARIÑO, Carlos; ROMERO, Julio; SANCHIS, Roberto. *Automatización industrial*. p. 6.

Esto es lo que conocemos como un sistema en bucle cerrado, donde la información, sobre los cambios del proceso es captada por los sensores, luego es procesada por el sistema de control que esté implementando, lo que da como resultado las acciones físicas que se deben implementar sobre el proceso por medio de los actuadores.

De forma paralela y eventual, el sistema de control envía información al operador, quien recibe datos en su forma final, que le indican consignas de funcionamiento, tales como marcha, paro, cambio de características de producción, entre otras, las que le indican el estado del proceso, para que pueda supervisar el correcto funcionamiento del sistema.

Podemos, entonces decir, que la automatización industrial es la aplicación de un sistema automatizado para controlar maquinarias y procesos industriales, de modo que se puedan realizar las tareas repetitivas por medio de equipos especializados, así como supervisión y control en tiempo real de plantas de producción, mejorando la calidad de los productos y disminuyendo los costos en la producción.

1.3.1. Aplicaciones de la automatización industrial

Actualmente, podemos mencionar ejemplos de automatización prácticamente en cualquier ámbito de la vida cotidiana. A nivel industrial, podemos automatizar muchas áreas de trabajo en prácticamente cualquier tipo de industria, aunque obviamente existen muchos otros trabajos donde no es posible, ya que no existe algún dispositivo que pueda competir contra el ser humano.

Podemos automatizar a nivel de campo, donde se pueden instalar sensores y actuadores para que hagan mediciones específicas o muevan piezas de forma precisa. A nivel de control tenemos los PLC o las estaciones de automatización, los cuales se programan para que realicen secuencias de trabajo y controlen los sensores y actuadores instalados en campo. Luego podemos mencionar la supervisión de los procesos por medio de pantallas y PCs para obtener retroalimentación del sistema, hacer modificaciones, ver alarmas, controlar arranques y paros del sistema, entre otros. Los niveles más altos de automatización tienen su base en software especializados instalados en PCs dedicadas solamente a esto o servidores que almacenan toda la información recopilada del sistema y el proceso, que permiten distribuir información dentro de la planta de producción o generar reportes de trabajo y producción para las

distintas áreas de la planta; también permiten realizar la planificación y administración de la producción total de toda la empresa automatizada.

Para la industria harinera, debido a que son productos para consumo humano, existe la necesidad de llevar controles de procesos rigurosos, para evitar cualquier contaminación y ofrecer productos de buena calidad al consumidor final. Asimismo, la creciente demanda de harina de trigo, ha impulsado la automatización de los molinos para optimizar los procesos, reducir los tiempos de entrega de producto y satisfacer la demanda del consumidor.

En la industria harinera ha sido posible automatizar prácticamente todo el proceso de producción; en el almacenamiento de trigo en silos es posible controlar de forma automática el ingreso de trigo, por medio de pesas electrónicas comunicadas a la red, luego el trigo es subido y vaciado dentro de los silos por medio de elevadores y compuertas controlados por PLC locales, los cuales están integrados a la red. La parte de limpia se maneja por tararas igualmente comunicados a un PLC que activa o desactiva el sistema.

En el acondicionamiento se tienen dosificadores de agua y temporizadores para el reposo, estos equipos son más complejos de manejar que un simple motor que se enciende y apaga, pues debemos saber cantidades de agua y tiempos lo más exactos y precisos posibles, para tener productos finales homogéneos y de buena calidad.

En la molienda se controlan los distintos molinos encargados de triturar los granos por medio de señales digitales para encender y apagar los motores por medio de PLC.

Dentro del área de molienda están los dosificadores, los cuales deben agregar los aditivos requeridos según la receta que se esté trabajando, estos aditivos son proporcionales en forma porcentual al total de harina producida, es decir, por cada parte de harina producida, se agrega un porcentaje de aditivo según sea necesario. Este proceso es casi imposible hacerlo de forma homogénea usando solamente el recurso humano, ya que se hacen las dosificaciones en línea conforme se obtiene harina base.

Los dosificadores actuales, suelen tener módulos de comunicación a redes industriales, ya que manejan demasiada información para hacerlo de forma digital convencional, deben saber la cantidad de harina actual, obtener el porcentaje solicitado de aditivo, tener retroalimentación para autoajuste, diagnóstico de funcionamiento, entre otros, todo lo que solo por medio de una red de comunicación industrial se puede transmitir. La tecnología Profibus permite hacer esta transmisión de datos casi de forma instantánea, enviar esta información a otras estaciones de la red y recibir retroalimentación de otros PLC para el control del sistema.

1.3.2. Ventajas y desventajas de la automatización industrial

Ventajas:

- Permite reducir el error humano durante la producción de harina, aumentando la calidad del producto terminado.
- Permite homogeneidad en la producción de harina de trigo, al controlar en línea los equipos y permitir autoajustes casi de forma instantánea.
- Disminuye tiempos de producción.
- Disminuye costos de producción en el tiempo.
- Disminuye riesgos al ser humano, al poder hacer tareas peligrosas, instalando equipos en áreas de alto riesgo.

- Permite enfocar esfuerzos a tareas especiales.

Desventajas:

- Costos de implementación elevados.
- No permite la flexibilidad y cambios en el sistema de forma inmediata.
- Dependencia de personal calificado para mantenimiento y reparación.
- Necesidad de personal calificado para operación del sistema.

1.4. Controladores lógicos programables

Para poder controlar las distintas áreas de un molino de trigo, los controladores lógicos programables o PLC son indispensables, ya que no sería posible que funcionaran de la forma que lo hacen sin ellos. Los PLC tienen grabadas las recetas de trabajo de cada área que controlan, envían y reciben señales de los equipos de campo, se comunican entre sí para pasar de un proceso a otro, procesan las señales recibidas de equipos más complejos como básculas o dosificadores y les envían por medio de la red de comunicación instrucciones a realizar; son partes fundamentales del manejo y producción de harina en la actualidad.

1.4.1. Definición de controlador lógico programable PLC

Se ha dado una definición formal al controlador lógico programable o PLC por la NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) descrita como sigue: El PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones, las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entradas y salidas, digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.

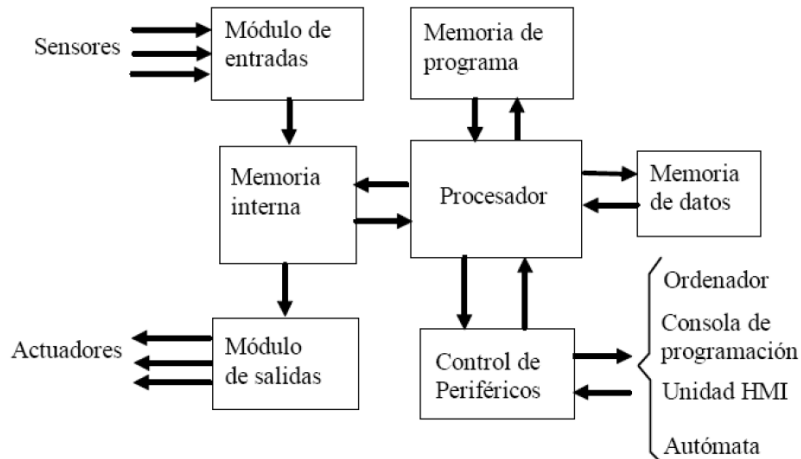
Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador programable, se puede considerar bajo este rubro. Se excluyen los controles secuenciales mecánicos.

En la industria de producción de harina tienen aplicaciones en prácticamente todas las áreas, pueden servir para control del área de almacenamiento en silos, cuantificando entradas de trigo sucio por medio de básculas, controlan la parte de limpia y acondicionamiento, dando instrucciones de los equipos que se activarán para limpiar el trigo que se extrajo de los silos e indicando la forma y tiempo de acondicionamiento de trigo, controlan los molinos que se usarán para la molienda y los aditivos a agregar a la harina según la receta asignada por el operador. Permiten el control de sistemas de empaques para producto terminado, cuanto producto será empacado y presentaciones, entre otros.

1.4.2. Arquitectura del PLC

En la imagen podemos ver el esquema general de un PLC, considerando varios bloques de funcionamiento.

Figura 4. **Esquema general de un PLC**



Fuente: ARIÑO, Carlos; ROMERO, Julio; SANCHIS, Roberto. *Automatización industrial*. p. 111.

Las unidades básicas de funcionamiento de un PLC son el procesador o unidad central de procesos (CPU), la fuente de alimentación de voltaje y el sistema entradas/salidas. Luego podemos mencionar módulos especiales como interfaz de comunicación, controladores especiales y entradas especiales de señales, entre otros.

1.4.2.1. Unidad central de procesos (CPU)

Como su nombre lo dice, es el centro del controlador, es decir, el cerebro del equipo. Contiene el procesador, la memoria y algunos controladores de periféricos (puertos, tarjetas de expansión, entre otros). Los módulos adicionales se conectan a la CPU por medio del bus.

EL microprocesador permite ejecutar instrucciones de programación en tiempos muy cortos, realiza operaciones aritméticas y lógicas, simular dispositivos de campo como temporizadores o contadores; es el encargado de llevar la información entre el sistema entrada/salida y la memoria, así como entablar comunicación con el usuario por medio de terminales de programación y de datos o bien con otros dispositivos inteligentes.

EL módulo principal es la CPU, que a veces tiene algunas entradas y/o salidas incorporadas. Junto con la fuente de alimentación de voltaje son los componentes mínimos para formar un sistema.

1.4.2.1.1. Memorias

Las memorias de un CPU son el espacio de almacenamiento donde los datos van a ser procesados y se almacenan las instrucciones necesarias para el procesamiento, estas pueden dividirse en los siguientes tipos de memoria:

- Memoria de programa: contiene el programa y las instrucciones que ejecuta el procesador.

Tiene dos partes:

- Una parte ROM que contiene el programa para comunicar el PLC con los módulos de programación.
- Una parte RAM con batería que también puede ser FLASH EEPROM en la que se almacena el programa del usuario, que implementa el algoritmo de control del proceso.

- Memoria interna: almacena los valores de las entradas y salidas, además de otras variables internas. Almacena variables de un solo bit para acceder a ellas de forma independiente para poder leerlas o escribirles datos.
- Memoria de datos: contiene datos de configuración o parámetro de funcionamiento del PLC y del proceso o datos de propósito general. En ella se almacena variables tipo byte (8 bits) o Word (16 bits).

1.4.2.2. Módulos de entradas y salidas

Los PLC actuales por lo general, son modulares lo que permite gran flexibilidad al momento de su selección, configuración y aplicación. Los módulos de entradas y salidas son muy importantes en la estructura del PLC pues permiten a la CPU conocer el estado real del sistema y también controlar los dispositivos instalados en campo; los módulos de entradas reciben información del exterior, como, por ejemplo, posición de alguna pieza determinada, presión dentro de un tanque, temperatura, nivel, entre otros, la traducen para que la CPU pueda entenderla y procesarla. Asimismo, traducen en señales eléctricas entendibles para cada actuador, la información que envía la CPU, de modo que se puedan activar y controlar equipos externos, como alarmas visuales, electroválvulas, motores, bocinas, entre otros.

Existen dos tipos de señales eléctricas que los módulos pueden manejar tanto de entrada como de salida: señales digitales y analógicas.

Las señales digitales son las que trabajan valores binarios 1 y 0. Las señales analógicas que puede tener un valor determinado dentro de un rango específico de valores, pueden ser de voltaje o corriente y la resolución varía de un PLC a otro.

1.4.2.2.1. Características técnicas

- Módulos de entradas digitales:
 - Número de entradas: 4, 8, 16, 32.
 - Niveles de tensión: TTL, 24/48VDC, 115VAC/DC, 230VAC.

- Módulos de salidas digitales:
 - Número de salidas: 4, 8, 16, 32.
 - Tipo de salida: transistor hasta 115VDC, TRIAC hasta 230VAC, TTL, contacto de relé.

- Módulos de entradas/salidas analógicas:
 - Número de entradas: 2, 4, 8.
 - Número de salidas: 2, 4, 8.
 - Rangos de trabajo:
 - 0 a +10 V
 - 1 V a 5 V
 - 1 V a 10 V
 - -1 V a +1 V
 - -10 V a +10 V
 - -2.5 V a +2.5 V
 - -250 mV a +250 mV
 - -5 V a +5 V
 - -50 mV a +50 mV
 - -500 mV a +500 mV
 - -80 mV a +80 mV
 - 0 a 20 mA
 - -10 mA a +10 mA
 - -20 mA a +20 mA

- -3.2 mA a +3.2 mA
- 4 mA a 20 mA

1.4.2.3. Módulos especiales

También son módulos de entradas y salidas, pero sirven para comunicar otros tipos de señales, diferentes a las mencionadas anteriormente.

- Módulos de servocontrol: para el control de posiciones en distintos ejes.
- Módulos de control de motores paso a paso: generan trenes de pulsos para el posicionamiento de motores paso a paso. Se retroalimentan por medio de la señal del encoder incremental que debe tener el motor.
- Módulo de entradas de temperatura: para la conexión de transmisores de temperatura, ya sean por sondas tipo termocopla o PT100.
- Módulos de velocidad: permiten el análisis de señales de dispositivos de entradas rápidas, como encoders o detectores de velocidad.
- I/O's de comunicación remota: a veces es necesario colocar periféricas en las redes industriales, ya que las entradas y salidas no están en el mismo sitio donde está la CPU central, por lo que se colocan módulos de control de entradas y salidas remotos, que se comunican por medio de buses de campo.
- Módulos de comunicación: para transmisión de volúmenes altos de datos, grandes distancias, con altas velocidades de transmisión y de respuesta, esto por medio de buses de campo o redes industriales.
- Módulos de control PID: permiten la implementación de sistemas de control tipo proporcional, integral, diferencial.

1.4.3. Unidades de programación

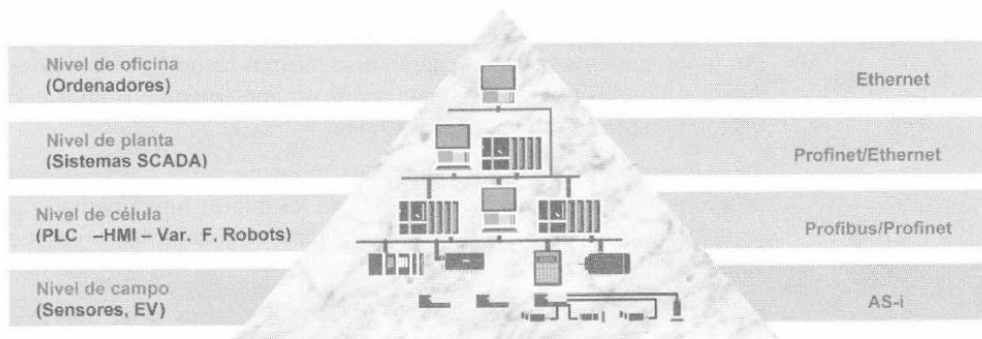
Son los que sirven para grabar en la memoria del PLC el programa que se desea ejecutar para hacer un proceso específico. Las más usadas son las consolas de programación y las PC.

1.5. Redes de comunicación industrial

A lo largo de la historia de la humanidad, la comunicación ha sido un factor clave y básico para el desarrollo, desde el arte rupestre como medio de registro del entorno, hasta la actualidad con los sistemas digitales que nos permiten muchas otras cosas como saber información que está a kilómetros de distancia. Así, en la industria actual, la transmisión y comunicación de datos entre los diferentes sistemas instalados, procesos y área de trabajo, es un cimiento para que dicha industria sea competitiva para los procesos productivos actuales.

Podemos definir cuatro niveles de comunicación, según las funciones solicitadas.

Figura 5. Niveles de comunicación



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 8.

Algunos de los beneficios de tener un sistema de comunicación industrial pueden ser:

- Reducción de costos de producción.
- Reducción de espacio de almacenamiento de datos.
- Mejorar la calidad del proceso.
- Mejorar la productividad.
- Reducción de costos de mantenimiento.

Para esto, debemos tener un sistema que comunique la planta de producción con la gestión e ingeniería y que permita la integración de las diferentes bases de datos de una empresa.

Existen varias clasificaciones del control del sistema, dependiendo la complejidad o de los componentes que intervengan en la red:

- Sistema centralizado cuando el control se hace por un solo sistema.
- Sistema distribuido cuando el control se hace a través de diferentes sistemas conectados por medio de una red.

También hay que considerar que, dado que existen múltiples fabricantes de equipos e integradores de redes industriales, fue necesario diseñar y aprobar normas generales, para tener compatibilidad entre los diferentes equipos y marcas y lograr que el personal técnico pueda entender diferentes redes sin ningún problema.

1.5.1. Modelo OSI para las comunicaciones industriales

Fue definido por la ISO en 1980 y es una referencia por capas para la arquitectura que debe tener el sistema de comunicación. Está formado por siete capas:

- Capa física: especifica el medio físico de transporte de los datos (cable, fibra, señales eléctricas, óptica, entre otros).
- Capa enlace: define la estructura de los datos dentro de la trama y lleva el control de errores.
- Capa red: interviene en el caso que se necesite comunicación entre redes.
- Capa transporte: define los paquetes de información que se enviarán.
- Capa sesión: permite el control del inicio y finalización de las conexiones.
- Capa presentación: representación de los datos.
- Capa aplicación: es para la utilización y visualización de datos.

A nivel industrial, las capas que se usan son:

- Capa física: se encarga de la transmisión de bits, define el medio físico de transmisión (fibra, cable, radio, entre otros), los niveles de señales de transmisión, así como de la velocidad de transmisión.
- Capa enlace: establece una comunicación libre de errores y define la trama organizando la información binaria.
- Capa aplicación: ofrece al usuario opciones de manejo de datos como correo electrónico, bases de datos, videoconferencias, entre otros.

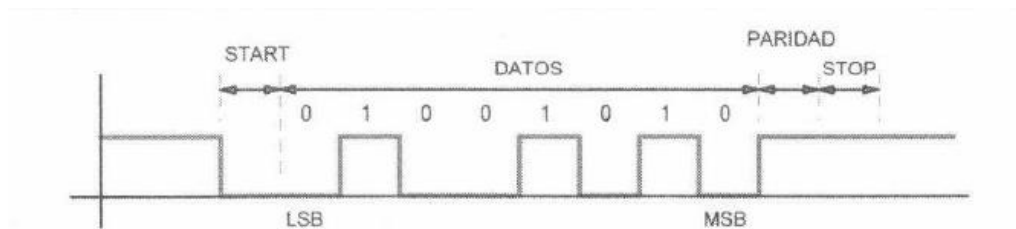
1.5.2. Tipos de transmisión

Se pueden usar dos sistemas, transmisión en serie y en paralelo.

1.5.2.1. Transmisión en serie

Los datos se transmiten uno a uno, bit por bit, usando solo una línea de comunicación. Usualmente se usa para transmitir largas distancias y volúmenes relativamente pequeños de datos. Es necesario tener una señal de sincronización emisor y receptor, además del canal de comunicación.

Figura 6. Transmisión en serie

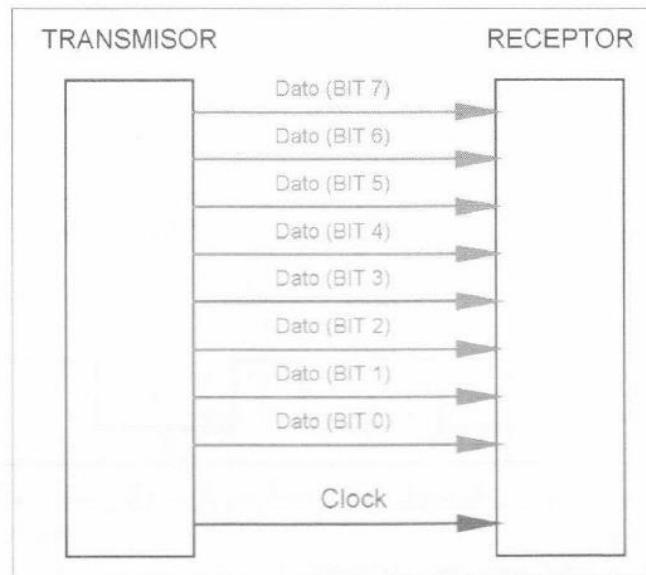


Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 18.

1.5.2.2. Transmisión en paralelo

Se envían uno a uno los bytes de comunicación, enviando simultáneamente todos los bits del mismo byte, necesita tener varias líneas de información, tiene restricción de distancia, por lo que se usa para comunicación local, aunque la velocidad de transferencia puede ser mayor que en una transmisión serial.

Figura 7. **Transmisión en paralelo**



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 16.

1.5.3. Normas físicas

Las principales normas utilizadas dentro del nivel físico según el modelo OSI son:

- RS-232
- RS-422
- RS-485

1.5.3.1. Norma RS-232

La idea original de esta norma fue poder comunicar una computadora con un módem, pero actualmente se usa a nivel industrial para la comunicación punto a punto de distintos equipos como PLC, variadores de frecuencia, lectores de códigos de barras, entre otros. Define la asignación de señales en los distintos pines del conector, la longitud del cable; utiliza voltajes de -12V a +12V para los distintos estados de la señal.

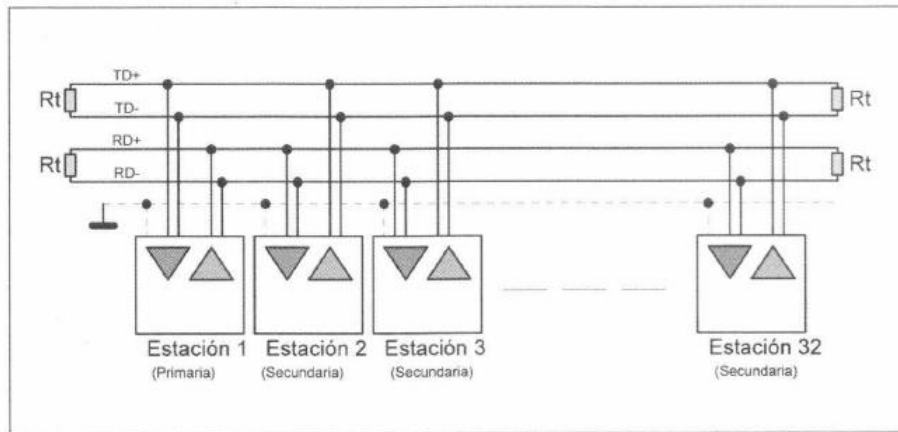
Utiliza un único hilo para recibir datos, usualmente se usa para distancias cortas y bajas velocidades de transmisión y puede ser afectado por el ruido.

1.5.3.2. Norma RS-422

- Es una mejora del RS-232.
- Utiliza dos hilos respecto a una masa o referencia, de esta forma el dato recibido se obtiene de la diferencia de tensiones entre estos hilos.
- Permite mayores distancias de transmisión y mayor inmunidad al ruido eléctrico.
- Usa transmisión full dúplex, lo que significa que cada equipo puede enviar y recibir información de forma simultánea al usar canales diferentes.
- También permite pasar de una comunicación punto a punto a una comunicación en red con un máximo de 32 equipos compartiendo el canal de comunicación.
- Es necesario definir una estación primaria, siendo el resto estaciones secundarias.
- Solo la estación primaria se puede comunicar con las demás, el resto de estaciones no pueden comunicarse entre sí; para esto, deben pasar primero por la estación primaria.

- También es necesario colocar resistencias terminales en los extremos de cada canal para mantener la impedancia de la línea.

Figura 8. **Configuración esquemática de una red en la norma RS-422**



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 31.

1.5.3.3. Norma RS-485

- Surgió para solventar algunos problemas de las normas anteriores.
- Dispone de un tercer estado llamado habilitación para que no existan colisiones en el canal de comunicación.
- Se basa también en un sistema diferencial de dos hilos para eliminar posibles ruidos y es totalmente compatible con la norma RS-422.
- Utiliza la transmisión diferencial half dúplex, lo que permite que cada dispositivo transmita y reciba, pero no al mismo tiempo.
- Esta norma permite que cualquier equipo pueda comunicarse con el resto.
- Se deberán colocar resistencias terminales en los extremos del canal de comunicación para mantener siempre la impedancia de la línea.

1.5.4. Topología de redes

Esto se refiere a la forma física y organización de los equipos y del cableado que intervengan en la red que tengamos. Se pueden considerar las siguientes topologías:

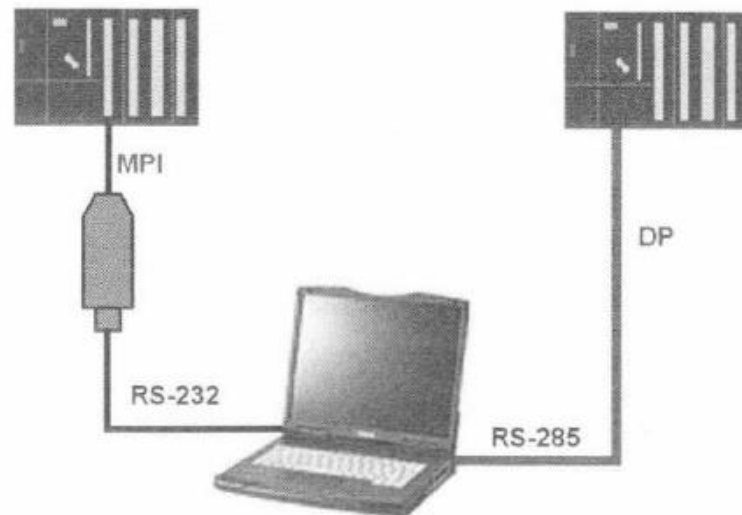
- Punto a punto.
- Bus.
- Árbol.
- Anillo.
- Estrella.

1.5.4.1. Punto a punto

Significa que se conectan directamente dos equipos, no es necesario incluir dentro de la trama del mensaje las direcciones de los equipos, estos se pueden comunicar bidireccionalmente y de forma simultánea y a veces no necesita adaptadores de red.

Dentro de las ventajas podemos mencionar que, si un nodo de este tipo dentro de la red falla, el resto puede seguir funcionando. Como desventaja podríamos decir que necesitamos múltiples tarjetas de comunicación; el cableado puede complicarse cuando tenemos muchos nodos, por lo que se recomienda para pocas estaciones y distancias cortas.

Figura 9. **Estructura de red en forma de punto a punto**



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 42.

1.5.4.2. Bus

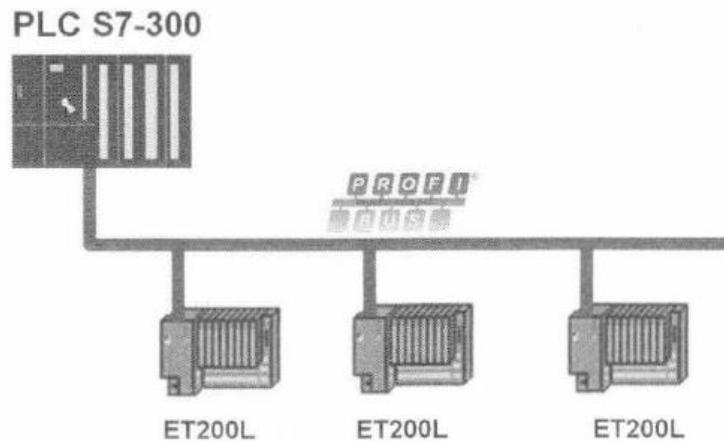
Utiliza una sola línea que comparte con todos los nodos de la red. Solamente un mensaje puede circular por la línea, lo que obliga a los nodos a averiguar si el bus está libre para su uso.

Dentro de las ventajas podemos mencionar el bajo costo de instalación, si falla un nodo el resto de la red sigue funcionando, todos los nodos se pueden comunicar entre ellos y es fácil la ampliación de nuevas estaciones.

Como inconvenientes tenemos la limitada distancia de cableado (10 km), la necesidad de repetidores por problemas de atenuación, al usar una sola línea se

tiene posibilidad elevada de colisión entre los mensajes de los distintos nodos; si el canal falla, la red se paraliza.

Figura 10. **Estructura de red en forma de bus**

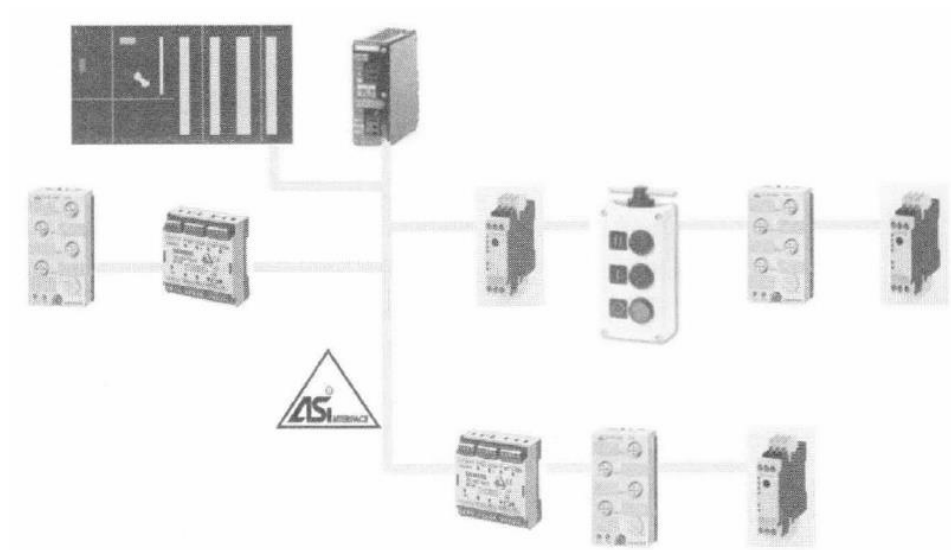


Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 43.

1.5.4.3. Árbol

Está formado por una serie de buses conectados entre sí, para obtener mayor alcance que el de un bus simple, pero aumenta el problema de atenuación. Podría aplicarse a un sistema de zonas independientes entre sí.

Figura 11. **Estructura de red en forma de árbol**



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 43.

1.5.4.4. Anillo

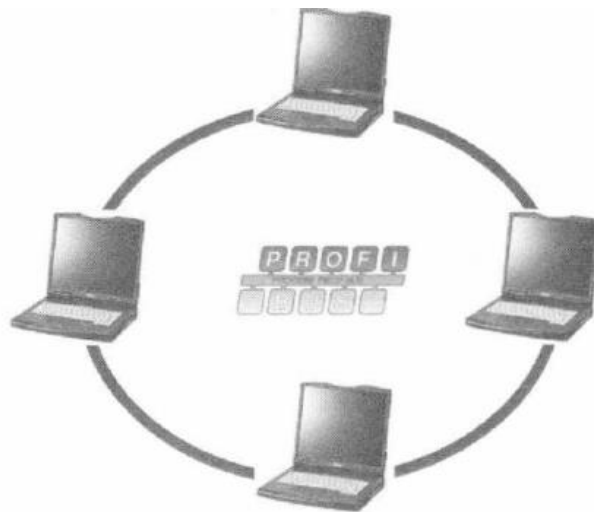
En este caso, los dos extremos de un bus simple se unen para formar un bus cerrado que forma de anillo. Sus características son:

- La información fluye en un solo sentido, por lo que no existen problemas de encaminamiento.
- No se producen colisiones.
- Puede haber más de un mensaje en el anillo.
- La inserción de un nuevo equipo es fácil.
- La velocidad de la red está definida por el equipo más lento.
- No hay problemas de atenuación, pues cada equipo actúa como repetidor.

Como inconvenientes podemos mencionar:

- Si un equipo falla, el anillo queda fuera de servicio y la red deja de funcionar.
- Es válido para distancias cortas.

Figura 12. **Estructura de red en forma de anillo**



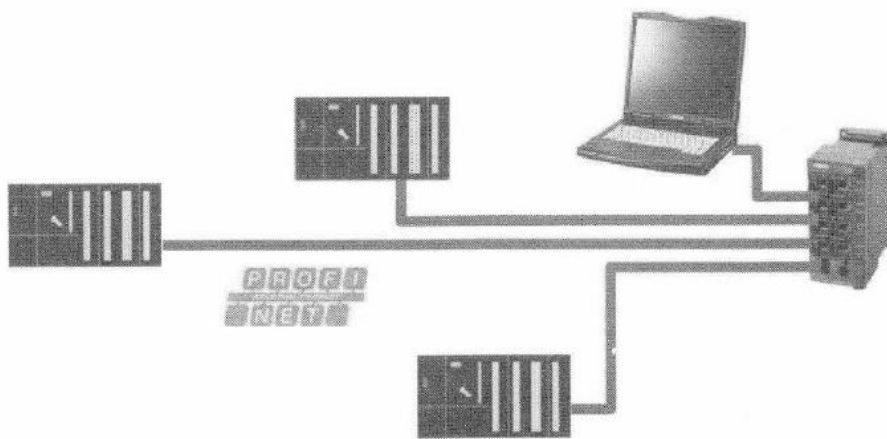
Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 44.

1.5.4.5. Estrella

Todas las estaciones de trabajo están conectadas a un mismo nodo de la red, el cual controla toda la transmisión de información, esto crea una dependencia de este equipo ya que si falla, cae toda la red. También debemos considerar que ese concentrador debe ser suficientemente potente, de lo contrario, se pueden producir retardos importantes que pueden paralizar la red.

Este sistema permite mayor rendimiento de la red, pues la información va directa del emisor al receptor; es posible agregar o quitar nodos fácilmente y admite diferentes velocidades de transmisión. Las aplicaciones más comunes son en redes LAN y Ethernet.

Figura 13. **Estructura de red en forma de estrella**



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 45.

1.6. **Bus de campo**

“Bus de campo” es el nombre de una familia de protocolos de red industriales utilizados para el control distribuido en tiempo real, estandarizado como IEC 61158. Los sistemas de producción industrial grandes y complejos actualmente necesitan un sistema de control organizado para funcionar adecuadamente. Podríamos decir que en el nivel superior de la jerarquía de estos sistemas de control existe usualmente una interfaz hombre-máquina (HMI), desde la cual el operador puede monitorear u operar el sistema. De acá, podemos enviar información a los niveles intermedios, que serían controladores lógicos

programables (PLC) por medio de algún sistema de comunicación. Por último, tenemos los sistemas de comunicación entre los PLCs y los componentes que realizan las tareas, como sensores, actuadores, motores eléctricos, válvulas y contactores. Esta comunicación puede ser del tipo punto a punto entre el control y el equipo final o por medio de bus de campo.

Por lo general, son redes digitales, bidireccionales, multipunto, los cuales conectan dispositivos como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Por medio del bus de campo, cada elemento será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus, lo cual significa mucha más información que la que podríamos obtener de una conexión punto a punto.

1.6.1. Buses de campo existentes

Podemos mencionar los siguientes:

- AS-interface.
- CAN.
- Ethernet industrial.
- Modbus.
- Profibus.
- Profinet.

1.7. Buses de campo Profibus

La palabra PROFIBUS se deriva de Process Field Bus y es un sistema que permite la comunicación entre sensores y equipos de campo con un sistema de control o controladores principales, permitiendo llevar mucha información.

1.7.1. Antecedentes de Profibus

A finales de la década de los ochenta, con la finalidad de generar un bus de campo con una arquitectura de comunicaciones abierta llamada Profibus (*PROcess Field BUS*), fue creado como un bus de campo abierto que cumple con todos los requerimientos en un rango muy amplio de aplicaciones; es también una norma de comunicaciones, no pertenece a ningún fabricante en particular y está certificado, por lo que permite que dispositivos de los diversos fabricantes certificados en este bus se comuniquen entre ellos sin necesidad de utilizar interfaces.

Debido a su arquitectura de comunicación abierta y que es un bus de campo cuya capa física está basada en un par trenzado con blindaje o fibra óptica, fue regulada en la norma DIN19245, luego por la norma EN50170, para finalmente ser reconocida por IEC, aprobando las especificaciones de Profibus como una norma internacional como la norma IEC 61158, y a finales de los noventa como IEC 61784; no dejando duda sobre la confianza de la misma para su aplicación tanto en proyectos de automatización como de control de procesos industriales.

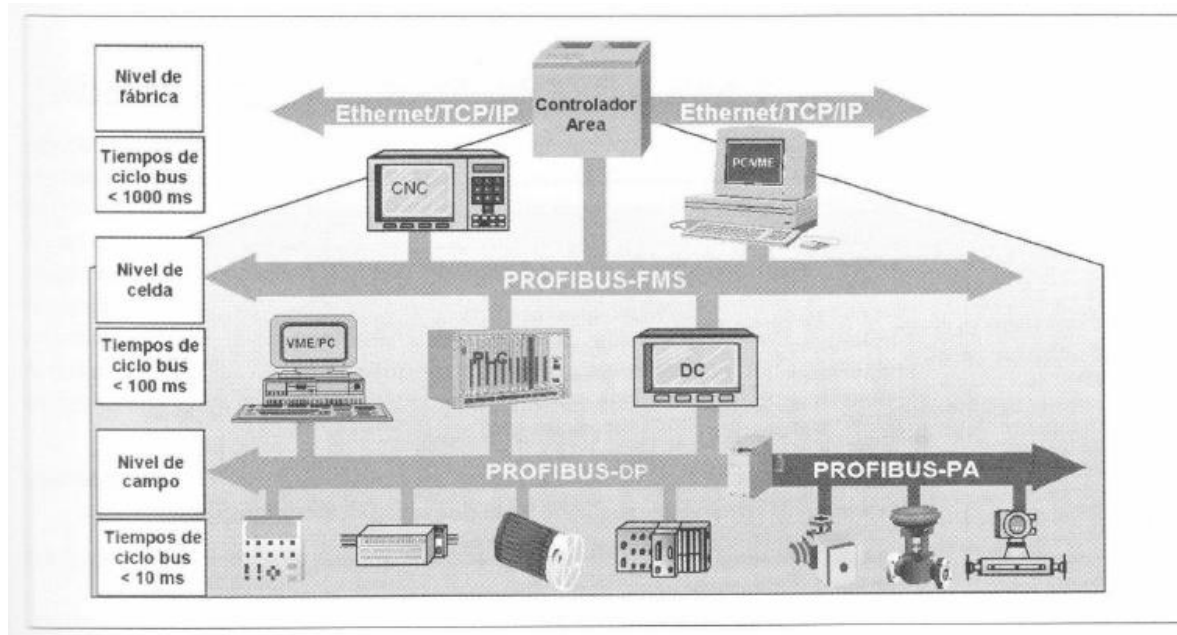
1.7.2. Descripción de Profibus

Profibus es uno de los buses con mayor implementación a nivel global, debido a que fue desarrollado con una arquitectura de comunicación abierta basada en el modelo ISO/OSI, para la comunicación de datos, cumpliendo con los requerimientos de automatización y control mediante tres perfiles del protocolo y que son compatibles entre sí:

- Profibus-FMS.
- Profibus-DP.

- Profibus-PA.

Figura 14. Estructura y tipos de perfiles Profibus



Fuente: GUERRERO, Vicente; MARTÍNEZ, Luis; YUSTE, Ramón. *Comunicación industrial*. p. 111.

Los perfiles Profibus-FMS y Profibus-DP, constituyen la comunicación, mientras que Profibus-PA constituye la aplicación, construido a través del perfil DP pero con un conjunto de funciones adicionales. Estas adiciones hacen que el perfil PA cuente con una tecnología de transmisión y alimentación de dispositivos de campo por medio del bus, cubriendo así las necesidades de estos.

1.7.2.1. Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification)

Este perfil de comunicación está implementado en el nivel 7 del modelo OSI, su aplicación es la transferencia de datos a gran volumen entre diferentes

dispositivos que se encuentren conectados en la misma red y es capaz de manejar paquetes de datos complejos. Es la solución general para tareas de comunicación de control.

1.7.2.2. Profibus-DP (*Decentralized Periphery*)

Este perfil de comunicación está implementado en las capas 1 y 2 del modelo OSI y la interfaz de usuario, donde se especifican las funciones de aplicación, así como el sistema y el comportamiento de las diferentes clases de dispositivos. Está basado en el intercambio de información de volumen medio a gran velocidad entre un controlador como maestro y diferentes controladores como esclavos o diferentes periféricos que también actúan como esclavos, todos conectados a una misma red de comunicación. Este está diseñado especialmente para comunicar sistemas de control de automatización y E/S distribuidas a nivel de dispositivos de campo.

Su comunicación es de tipo cíclica mayormente, pero en algunos sistemas se requieren funciones no cíclicas y así permitir la configuración, el diagnóstico y el manejo de alarmas.

Las clases de maestros DP en un sistema de este tipo dependen directamente de las funciones que realizan, y cada uno de estos sistemas puede tener tres tipos diferentes de dispositivos:

- Maestro DP clase 1: es por lo general un PLC o una computadora que hace de unidad central e intercambia información de forma cíclica con las estaciones descentralizadas de la red y define la velocidad y la rotación del testigo.

- Maestro DP clase 2: son principalmente herramientas de arranque y diagnóstico. Pueden realizar tareas de configuración y tareas de mantenimiento en el momento de la puesta en marcha del sistema y durante el funcionamiento. También pueden controlar esclavos.
- Esclavo DP: es un dispositivo periférico, que no tiene el permiso de acceso al bus, sino solo recibe y envía mensajes cuando el maestro lo solicite.

1.7.2.3. Profibus-PA (*Process Automation*)

Este perfil es un caso ampliado de Profibus-DP, el cual fue diseñado para trabajar en ámbitos de control de procesos, especialmente en áreas peligrosas, donde son requeridos productos con seguridad intrínseca y suministro de energía a los dispositivos a través del bus mediante el simple uso de cable de cobre trenzado de dos hilos, permitiendo que tanto los datos como la alimentación de los dispositivos sea por medio de una sola línea de acuerdo al estándar internacional IEC 1158-2.

Su comunicación digital bidireccional permite la interconexión de varios equipos de una sola red y directamente en campo, conectando sistemas de automatización y sistemas de control de procesos con dispositivos de campo análogos. En este perfil se definen, de forma independiente al fabricante, los parámetros y el rol de los dispositivos de campo.

1.7.3. Características de Profibus

Es un bus de campo usado para la interconexión de dispositivos digitales en una misma red, donde algunos de ellos pueden estar en campo. Es un bus de campo diseñado para aplicaciones industriales de control y automatización, por

lo cual Profibus establece las características de comunicación de un sistema de bus de serie:

- Tiene dos clases de estaciones: la activa y la pasiva, maestro y esclavo respectivamente.
- La estación activa o de maestro puede controlar el bus.
- La estación pasiva o de esclavo se limita a responder o confirmar los mensajes enviados por la estación activa o de maestro.
- Utiliza tres niveles del modelo OSI: nivel físico, nivel de enlace de datos y el nivel de aplicación.
- La capa 1 define las características físicas de transmisión.
- La capa 2 define el protocolo de acceso al bus.
- La capa 7 define las funciones de aplicación.
- El perfil Profibus-FMS puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 1,5 Mb/s en función del medio utilizado.
- El perfil Profibus-FMS es un sistema multimaestro.
- El perfil Profibus-DP tiene una velocidad de comunicación de hasta 12 Mb/s.
- El perfil Profibus-DP es un sistema monomaestro.
- El perfil Profibus-PA tiene una transmisión síncrona de 31,2 kbits/s.
- Utiliza un método mixto para ordenar la comunicación entre los dispositivos.
- Utiliza un método de comunicación tipo token bus para comunicar un dispositivo maestro con otro. Este método asegura la asignación de los derechos de acceso del bus dentro de un intervalo definido.
- Utiliza un método de comunicación tipo maestro-esclavo para la comunicación entre los dispositivos maestros con los dispositivos esclavos.
- Profibus utiliza mayormente RS-485 para la transmisión.

- La interfaz RS-485 usa señales diferenciales.
- La comunicación RS-485 es half dúplex.
- La interfaz RS-485 es una interfaz multipunto.
- El RS-485 utiliza diferentes tipos de conectores, el más utilizado es el DB9, el cual tiene 5 líneas de recepción y 3 de transmisión.
- La interfaz RS-485 es utilizada para la comunicación de los perfiles FMS y DP.
- El perfil PA utiliza MBP (*Manchester Bus Powered*) para su comunicación.
- Profibus también puede comunicarse por fibra óptica.
- La fibra óptica es el medio de la transmisión de datos segura.
- La fibra óptica transmite datos a grandes velocidades (GHz) y largas distancias.
- Cada segmento del bus, sin repetidor, pueden conectarse hasta 32 dispositivos.
- Cada segmento del bus, con repetidores, pueden conectarse hasta 127 dispositivos.
- La máxima longitud de cable trenzado depende de la velocidad de transmisión:
 - Para 9,6 Kb/s, tenemos una distancia de 1 200 m.
 - Para 19,2 Kb/s, tenemos una distancia de 1 200 m.
 - Para 93,75 Kb/s, tenemos una distancia de 1 200 m.
 - Para 187,5 Kb/s, tenemos una distancia de 100 m.
 - Para 500 Kb/s, tenemos una distancia de 400 m.
 - Para 1 500 Kb/s, tenemos una distancia de 200 m.
 - Para 12 000 Kb/s, tenemos una distancia de 100 m.
- El bus Profibus tiene cuatro componentes:
 - Nodo.
 - Repetidor.

- Expansiones E/S.
- Topología de red.
- Las resistencias en los extremos de las líneas deben tener un valor igual al valor de la impedancia del cable, para evitar reflexiones que pueden llegar a producir errores en los datos.

Figura 15. **Perfiles, características y aplicaciones de Profibus**

Perfil:	Principal aplicación	Principal ventaja	Características más relevantes
PROFIBUS-FMS	Automatización para propósitos generales	Universal	• Gran variedad de aplicaciones • Comunicaciones multi-maestro
PROFIBUS-DP	Automatización de factorías	Rápido	• Plug and Play • Eficiente y efectivo en costo
PROFIBUS-PA	Automatización de procesos	Orientado a aplicación	• Suministro de energía a través del propio bus • Seguridad intrínseca

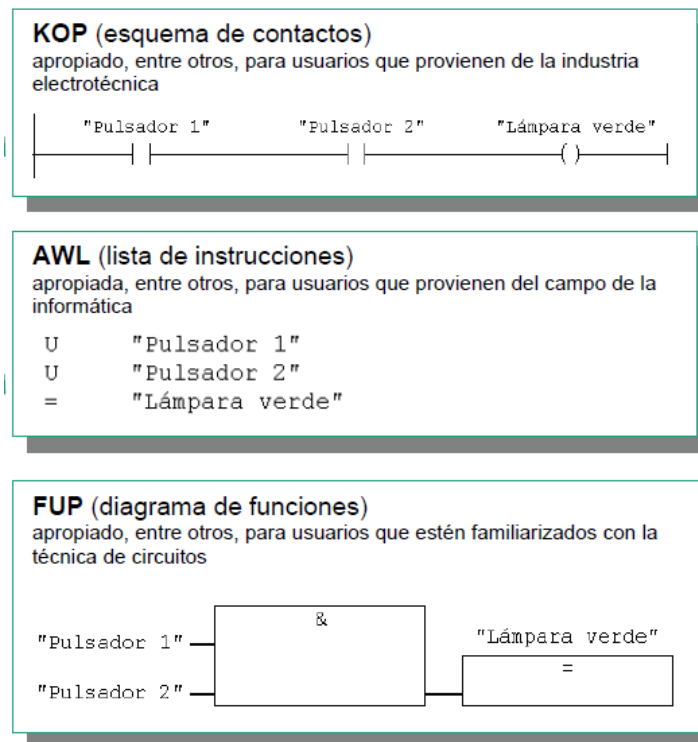
Fuente: Centro Integrado Politécnico ETI. *Documentación de interés.*
<http://www.etitudela.com/celula/downloads/2profibus.pdf>. Consulta: Julio de 2018.

1.8. **Software para configuración y parametrización de controladores PLC marca Siemens modelo S7-400**

El software estándar para crear programas en PLC's marca Siemens modelos SIMATIC S7-300 y S7-400 es llamado STEP 7. Permite crear programas en tres tipos de lenguajes de programación:

- KOP - Esquema de contactos. Es recomendado para usuarios de la industria electrotécnica.
- AWL - Lista de instrucciones. Es recomendado para usuarios del área de informática.
- FUP - Diagrama de funciones. Es recomendado para usuarios acostumbrados a la técnica de circuitos.

Figura 16. Ejemplos de los distintos lenguajes de programación



Fuente: Siemens. *SIMATIC Introducción y ejercicios prácticos*. p. 23.

Para programar en el PLC es necesario tener una unidad de programación (computadora de programación o unidad de programación Siemens), un cable de

comunicación (para el caso de Profibus un cable tipo PG serial) y el paquete de software de STEP 7 y la correspondiente clave de licencia.

Para poder configurar y agregar equipos en una red Profibus, es necesario que el PLC maestro tenga la información sobre qué tipo de equipo se integrará, sus propiedades físicas, características eléctricas, entre otros. Toda esta información se recopila en lo que se llama archivo GSDML, que se encuentran programados en un lenguaje basado en XML.

Los archivos GSDML los debe proporcionar cada fabricante de equipos que tengan la capacidad de conectarse a una red Profibus. Usualmente vienen en archivos tipo ZIP, que contienen un archivo con formato XML y un archivo de imagen, ambos necesarios para configurar el equipo en la configuración de equipos.

1.9. Descripción de dosificadores electrónicos para aditivos de harina de trigo en una industria harinera

Un dosificador de aditivo permite agregar complementos a un producto base, para este caso específico, cuando se produce harina de trigo para el consumo humano, se le agregan aditivos como vitaminas, como complemento de los valores nutricionales que debe tener la harina.

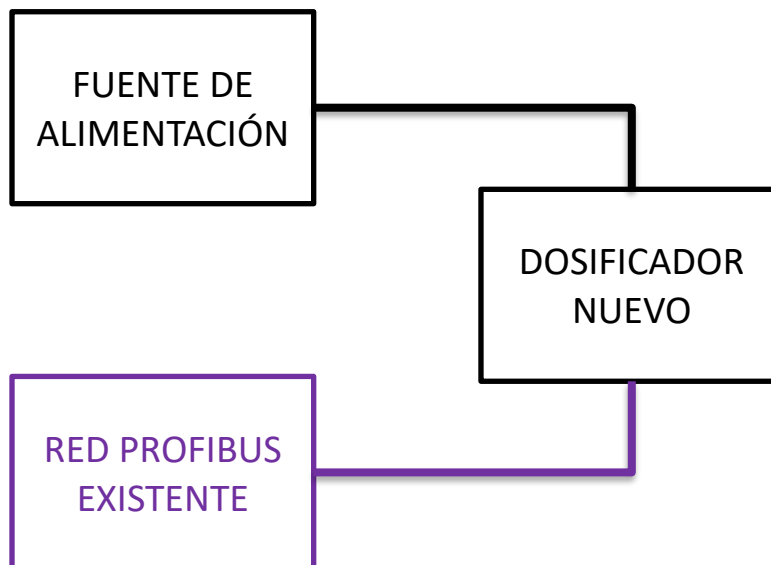
Estos equipos pueden ser volumétricos o por peso, es decir, la forma que usan para medir la cantidad de producto a despachar puede ser por medio de un sensor de caudal ajustado a cierto valor para que el equipo funcione de forma que siempre despache esa cantidad de producto; o bien, por medio de celdas de carga, las que permiten hacer una medición de peso en un momento determinado y cuando se consiga el peso determinado, se hace el despacho de producto.

Actualmente, los dosificadores en su mayoría, son electrónicos, por lo que tienen un controlador propio para ajustes específicos de su funcionamiento. Tienen equipos para que dosificar sea lo más preciso y exacto, de modo que tengamos al final un flujo de producto constante y bien dosificado. Asimismo, buscan tener pocas piezas móviles, de modo que se reduzcan los puntos de fallo y aumente la confiabilidad de funcionamiento.

2. GUÍA PARA INTEGRACIÓN DE UN DOSIFICADOR DE ADITIVOS A LA RED PROFIBUS

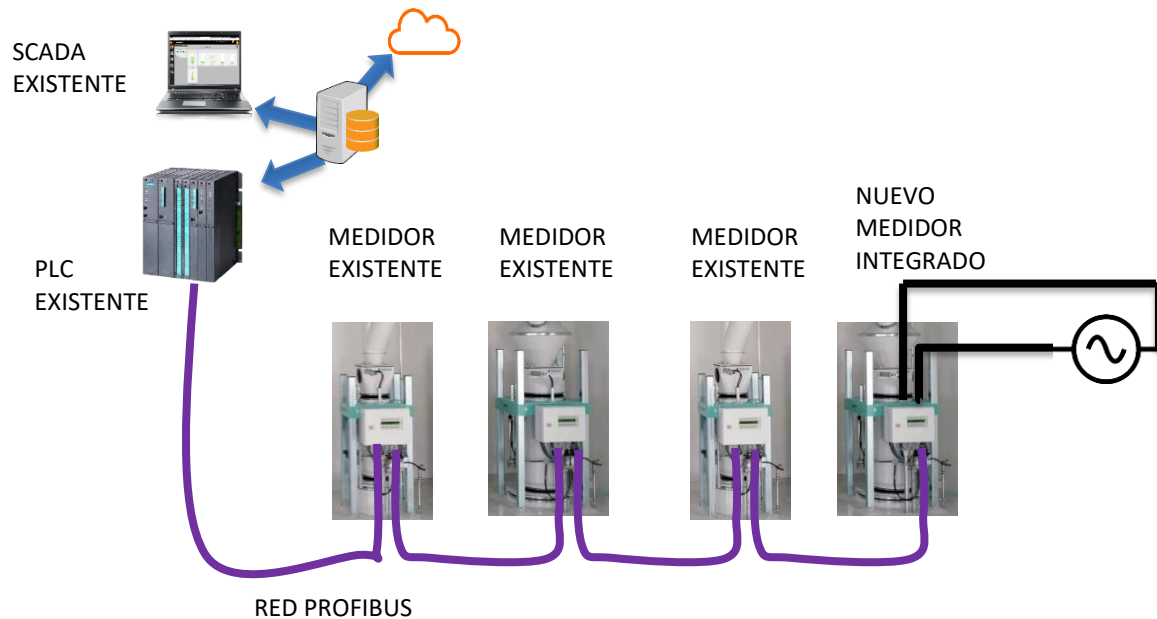
A continuación, se detallan los requerimientos eléctricos y de programación necesarios para realizar la integración del equipo de dosificación en la red Profibus. Se hace un paso a paso del análisis eléctrico necesario para habilitar los equipos, así como un paso a paso de la programación necesaria para poner en funcionamiento el equipo. Para esta integración, se seleccionó un dosificador marca Bühler, modelo MEAG/MEAN, un PLC marca Siemens modelo S7-400 con módulo de comunicación Profibus integrado.

Figura 17. Diagrama simplificado de conexión eléctrica



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Disposición de equipos en la red Profibus



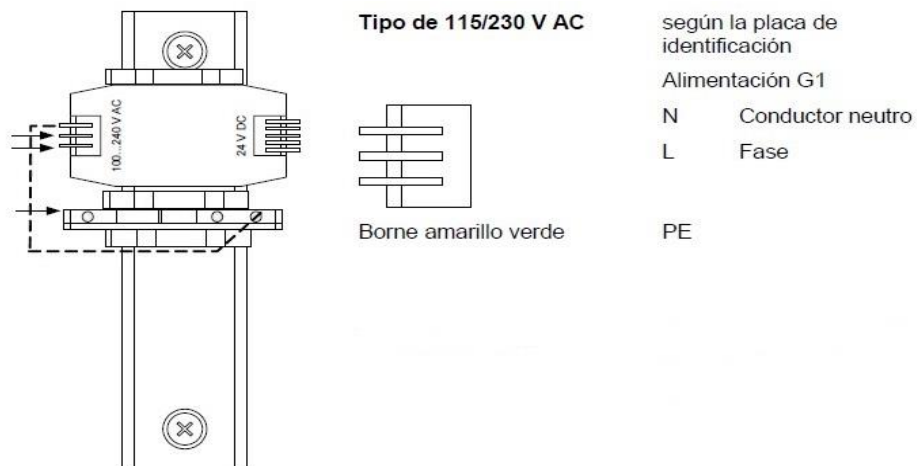
Fuente: elaboración propia.

2.1. Características eléctricas requeridas del dosificador de aditivos que se va a integrar

- Voltaje de funcionamiento: 100...240 V AC (+10 % / –15 %) VAC.
- Frecuencia de red: 43...67 Hz.
- Fases eléctricas: sistema monofásico.
- Corriente nominal: 0,15 A.
- Consumo de potencia máx. 40 VA.
- *Backup* de datos mín. 20 años (*FLASH*; RAM respaldada por batería).
- Interfaz Profibus-DP Esclavo Profibus; conector hembra enchufable Sub-D de 9 polos.

- El mando de forma remota debe ser habilitado, para que se pueda controlar el equipo por medio de la red. En el menú SYS, submenú REM y opción REMP permite habilitar el mando remoto.
- La interfaz Profibus debe ser habilitada en el equipo. En el menú HOST, submenú SIO y la opción SIO2 permite habilitar la interfaz.
- La dirección Profibus que se asignará en el programa, también debe ser asignada al equipo dosificador. En el menú HOST, la opción ADR permite cambiar la dirección, ingresándola manualmente. Por defecto, el equipo trae dirección 0.
- La velocidad de transferencia debe ser la misma que la red. En el menú HOST, la opción BAUD permite hacer este cambio. Las opciones son 4 800 / 9 600 / 19 200. Por defecto, el equipo viene configurado a 4 800 b/s.
- La resistencia para la tierra física debe ser de 0 ohmios aproximadamente
- Fusible de protección de 2 A.

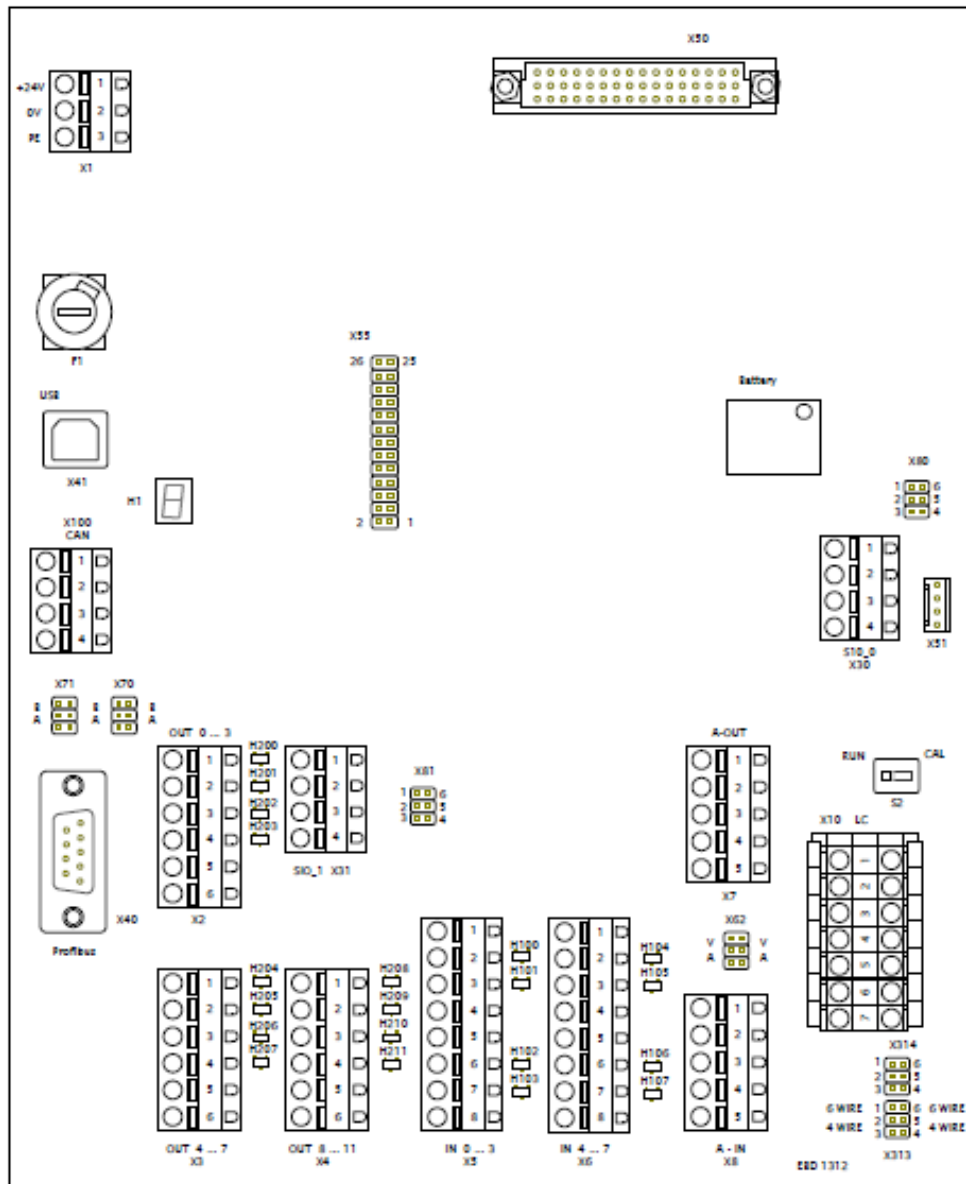
Figura 19. **Disposición de alimentador eléctrico dentro del tablero eléctrico del dosificador de aditivos**



Fuente: Bühler AG. *Instrucciones de Servicio Mando Universal MEAG*. p. 11.

Figura 20. Tarjeta base EBD 1312 de conexión en mando MEAG

Tarjeta base EBD 1312



Fuente: Bühler AG. *Instrucciones de Servicio Mando Universal MEAG*. p. 10.

Figura 21. **Puentes enchufables EBD 1312 de conexión en mando MEAG**

Puentes enchufables EBD 1312

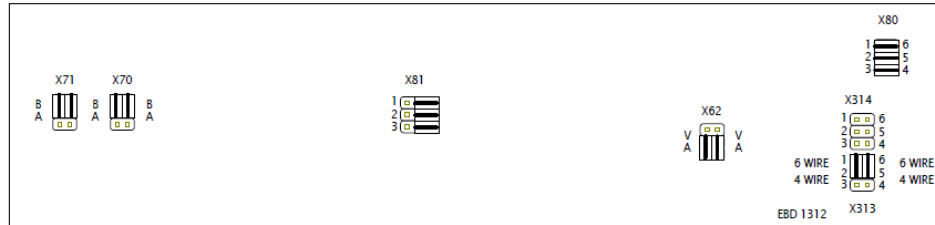


Fig. 3.2

X71	B = Profibus en X40	A = RS-485 SIO_2 en X40		
X70	B = Profibus en X40	A = RS-485 SIO_2 en X40		
X62	A = Entrada de corriente en X8	V = Entrada de tensión en X8 (izquierda A10, derecha A11)		
X81	1-6 = Pullup	2-5 = Term	3-4 = Pulldown	SIO_1
X80	1-6 = Pullup	2-5 = Term	3-4 = Pulldown	Display SIO_0
X313	1-2 = 6 Wire	5-6 = 6 Wire	Celda de carga de 6 hilos	
	2-3 = 4 Wire	4-5 = 4 Wire	Celda de carga de 4 hilos	

Fuente: Bühler AG. *Instrucciones de Servicio Mando Universal MEAG*. p. 11.

2.2. Requerimientos de la red Profibus

- Físicamente, la red está conectada con cable de dos hilos apantallado tipo *FastConnect* (FC), impedancia nominal de 150 Ω , voltaje RMS 100 V, forro de PVC morado.
- La velocidad de la red puede ir desde 9,6 kb/s hasta 12 Mb/s, dependiendo la cantidad de equipos conectados.
- Un PLC configurado como maestro clase 1.
- Servicio de comunicación PG/OP que comprende funciones integrales de comunicación que son utilizadas por los controladores programables SIMATIC para realizar la comunicación de datos con dispositivos HMI y SIMATIC PG.

- Es necesario asignar direcciones Profibus de entrada y salida a cada equipo dentro de la red de donde se lee y a donde se escribe la información relacionada con la máquina, por lo que necesitamos que la red tenga direcciones disponibles. La cantidad de direcciones dependen de la configuración de la red.

2.3. Requerimientos del controlador lógico programable ya existente en la red

PLC marca Siemens Modelo S7-400 6ES7414-3XM05-0AB0:

- Voltaje de funcionamiento: 24 VDC.
- Corriente nominal: 450 mA.
- Consume de potencia: 5,5 W.
- Memoria de trabajo integrada: RAM 2,5 MB.
- Interfaz 1: RS485 / MPI + Profibus DP 12 Mb/s.
- Interfaz 2: RS485 / Profibus.

2.4. Softwares requeridos para la programación de los equipos

- Sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional/Ultimate, Windows 10, instalado en la PG Siemens.
- Software marca Siemens STEP 7 Safety Advanced V15 para programación de PLC Siemens SIMATIC S7-1200F/1500F, SIMATIC S7-1 500F SW Controller, SIMATIC S7-300F/400F/WINAC F.
- Archivo GSDML, con las características propias del dosificador que se agregará, proporcionado por el fabricante.

2.5. Equipos eléctricos adicionales necesarios para realizar la integración

- Una computadora tipo PG marca Siemens, equipada con interfaz Profibus, para el uso en ambientes industriales duros.
- Fuente de alimentación 115/230 VAC para mando MEAG y PC
- Fuente de alimentación 24 VDC para PLC.
- Cable tipo PG para conexión entre la PC Siemens y el PLC.
- Interruptor termomagnético para montaje en riel DIN de un polo y 4 Amperios, para protección eléctrica del dosificador.
- 1 conector Profibus para instalar en la entrada de red del dosificador MEAG (el PLC ya tiene instalado un conector en la salida de red).
- Resistencia terminal de red, si el equipo nuevo será el último físicamente en la red.
- Cable de comunicación Profibus entre el maestro y el dosificador nuevo.
- Cable de alimentación 115/230 VAC para el dosificador tipo multilínea 3*1,5 mm² para máximo 21 Amperios.
- Materiales consumibles: identificadores de cables, bornes de conexión, terminales para entallar cable, entre otros.

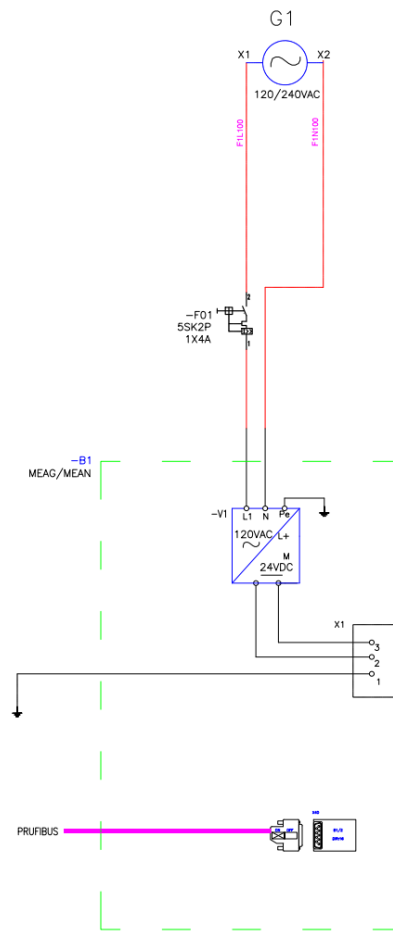
2.6. Instalación eléctrica de los equipos

- Se considera que los equipos de control existente están en un tablero de control con protección IP55.
- La alimentación 115/230 VAC será proporcionada por un transformador 460/480 VAC en el primario y 115/230 VAC en el secundario, ya existente.
- Se instalará en el tablero de control existente la protección termomagnética nueva. De acá se hará el cableado eléctrico hacia el

dosificador nuevo, que mecánicamente estará en el punto donde se desea dosificar el aditivo de harina.

- Se instalará un conector Profibus en el PLC y uno en el dosificador, para hacer la conexión eléctrica del cable de red Profibus.
- Asegurar el grado de protección IP65 y la estanqueidad para la zona ATEX 22.
- Poner a tierra la carcasa. La resistencia debe ser de 0 ohmios, aproximadamente.

Figura 22. **Diagrama de conexión eléctrica**

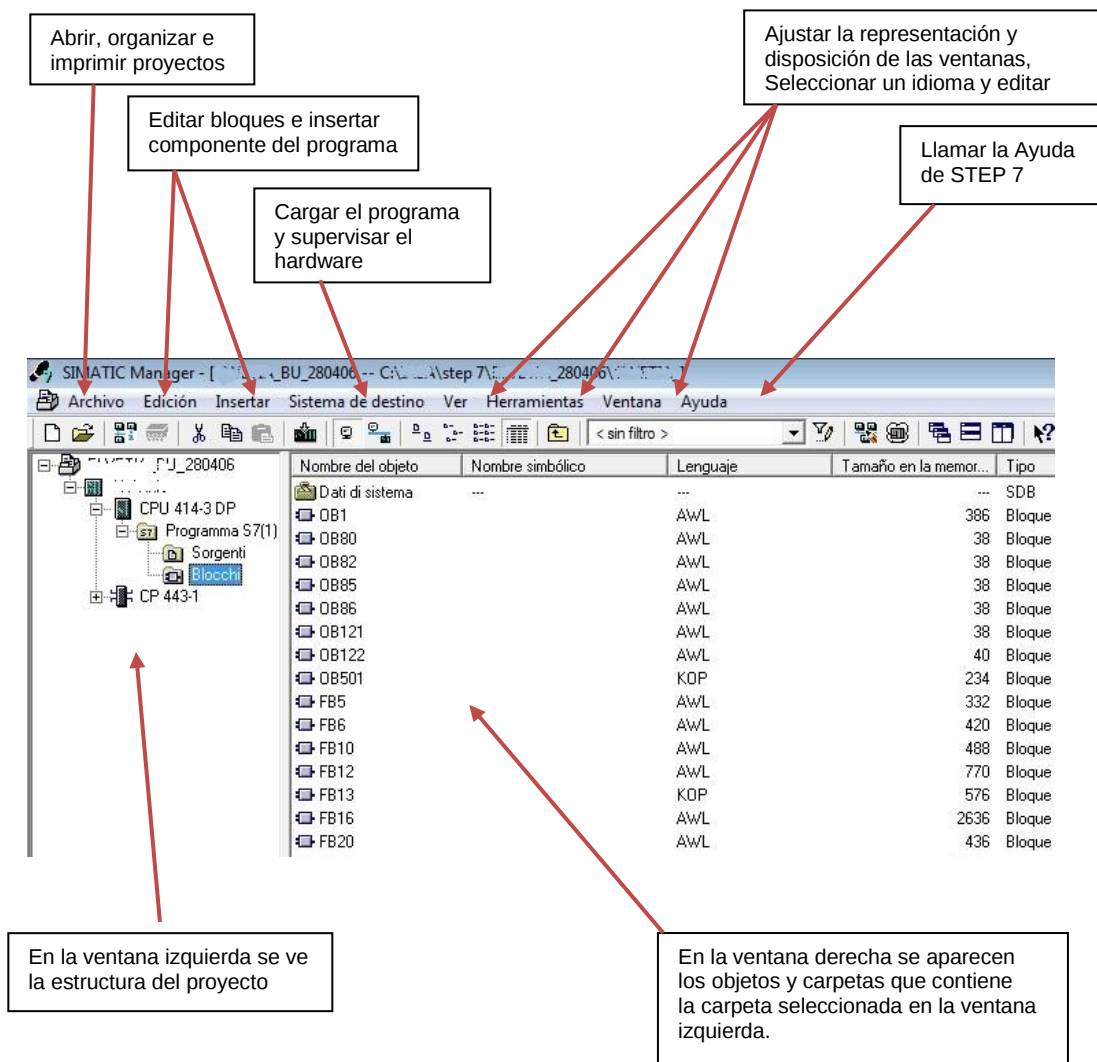


Fuente: elaboración propia.

2.7. Programación de los equipos

- Primero es necesario instalar el STEP 7. En este caso, el software ya está instalado.
- Abrimos el software y veremos una pantalla como esta:

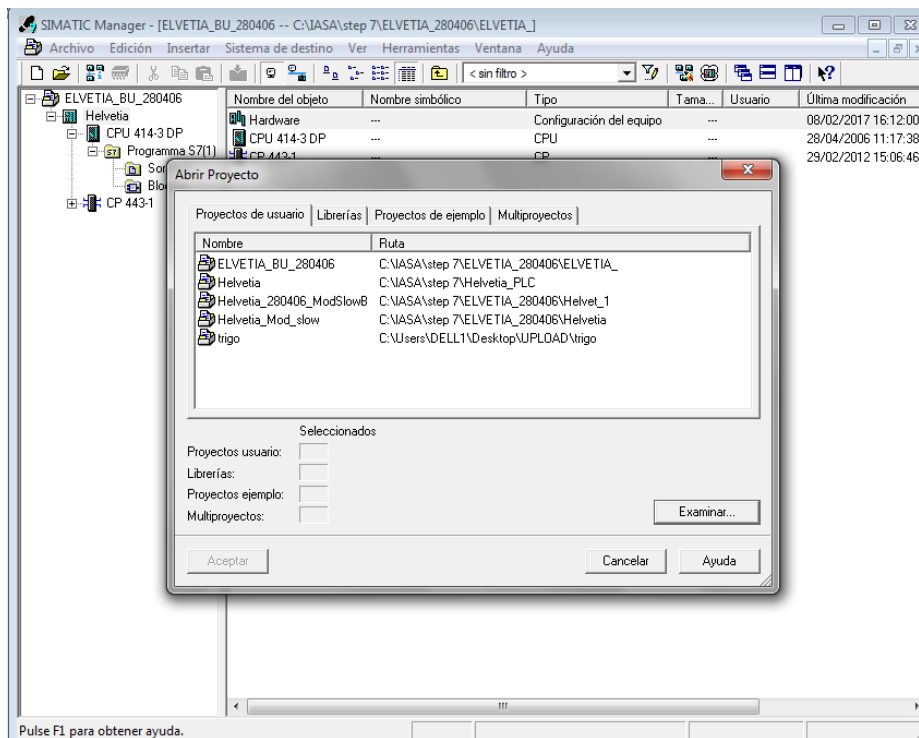
Figura 23. Pantalla principal en software STEP 7



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

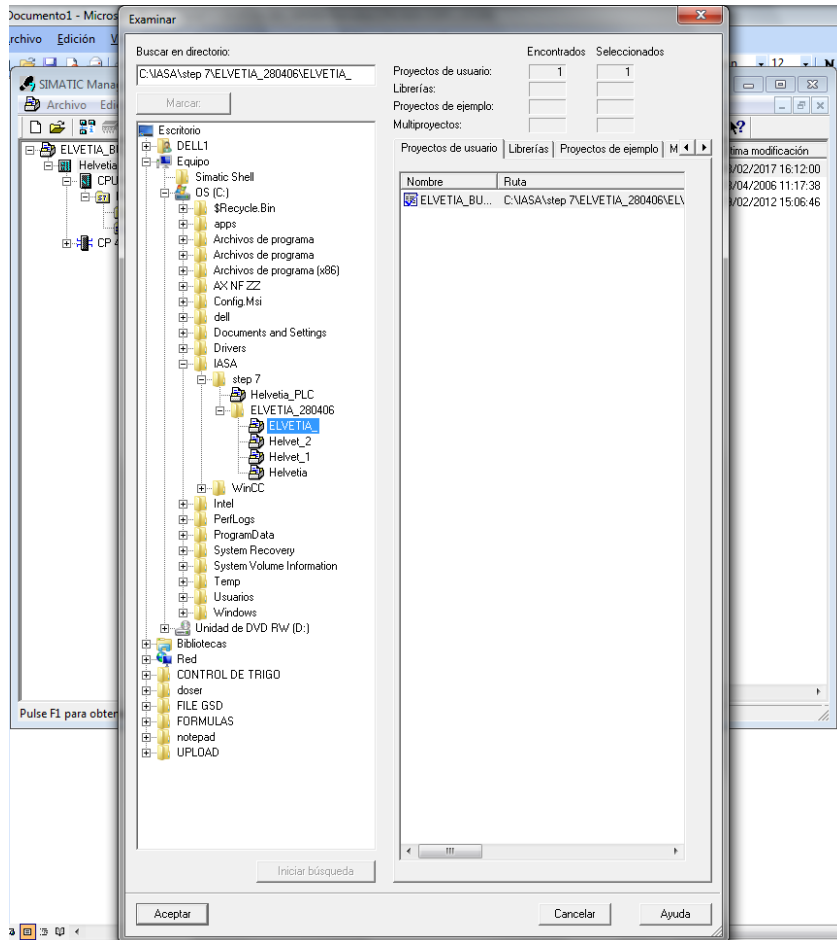
- Es necesario tener instalado el archivo GSDML del dosificador. Para esto, hay que abrir el menú "Herramientas > Administrar archivos de descripción de equipo (GSD)", buscar la ruta donde está el archivo e instalar. Al terminar, aparecerá el aviso de que ya está instalado el equipo.
- Como el proyecto ya existe, procedemos a abrir el archivo desde el STEP 7.

Figura 24. Vista de cuadro para abrir proyecto existente



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

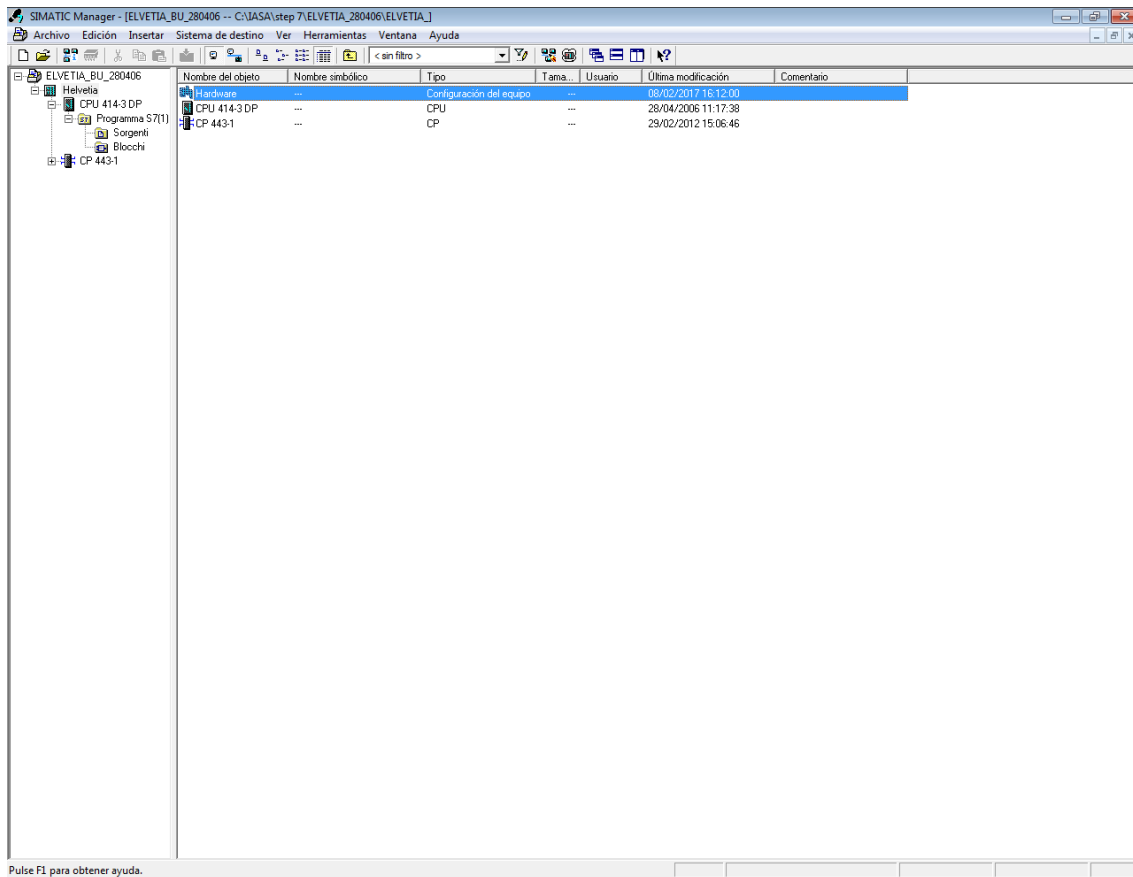
Figura 25. Vista opción examinar en STEP 7



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

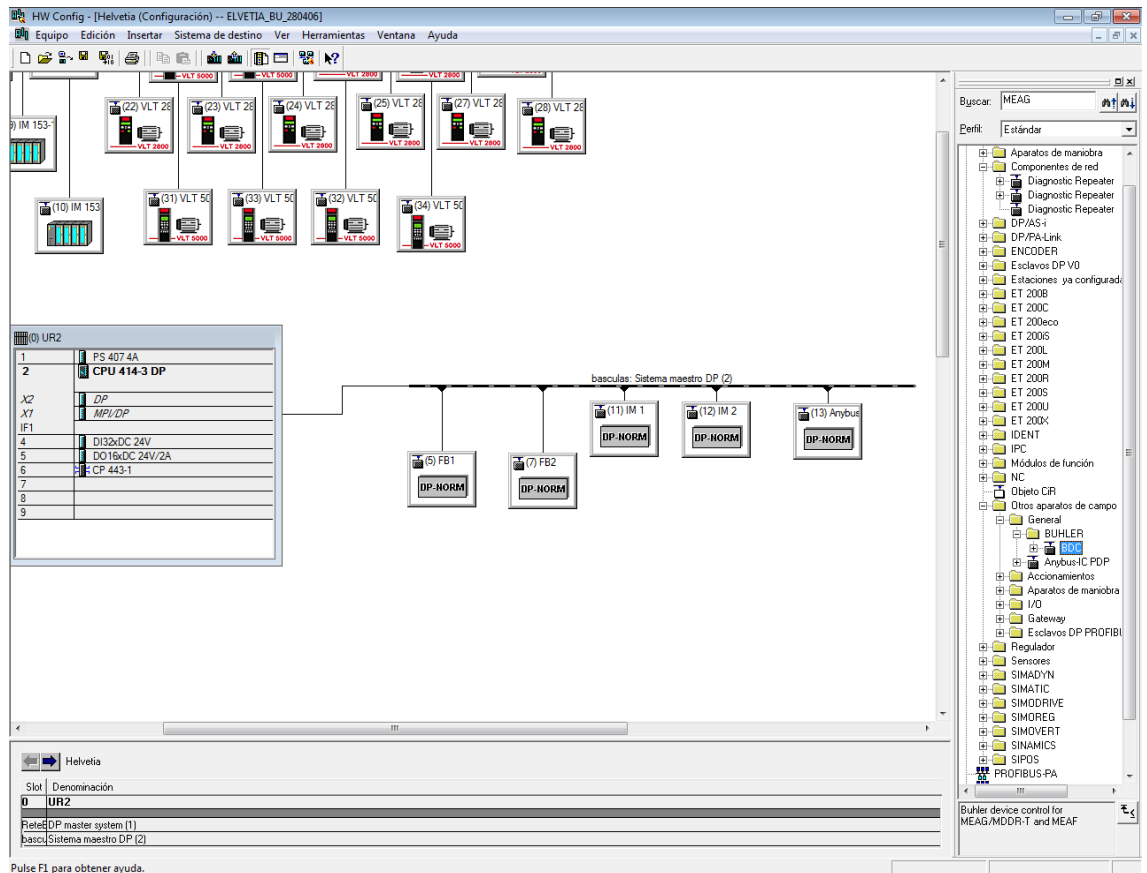
- Una vez abierto el programa, en el menú de la derecha podremos encontrar el objeto llamado Hardware. Al seleccionarlo, nos mostrará todos los dispositivos incluidos actualmente en la red en la ventana HW Config; esto permitirá agregar el hardware en la red existente.

Figura 26. Vista de hardware en STEP 7



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

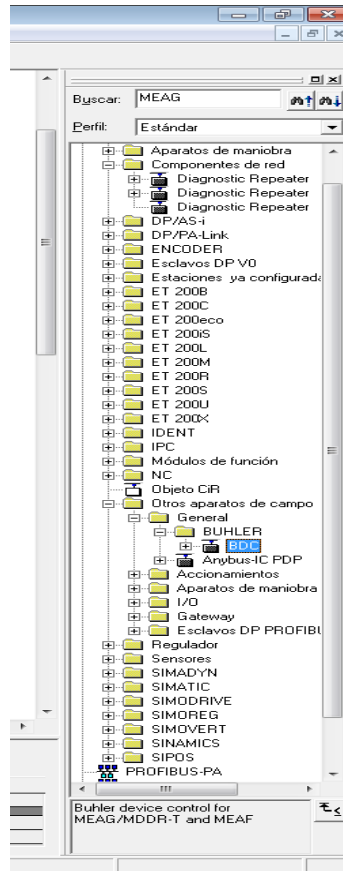
Figura 27. Vista de todos los dispositivos actuales en la red



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

- Se desplegará un menú del lado derecho, en el cual podremos ver todos los equipos cuyos archivos GSDML se encuentren instalados en nuestra PC.

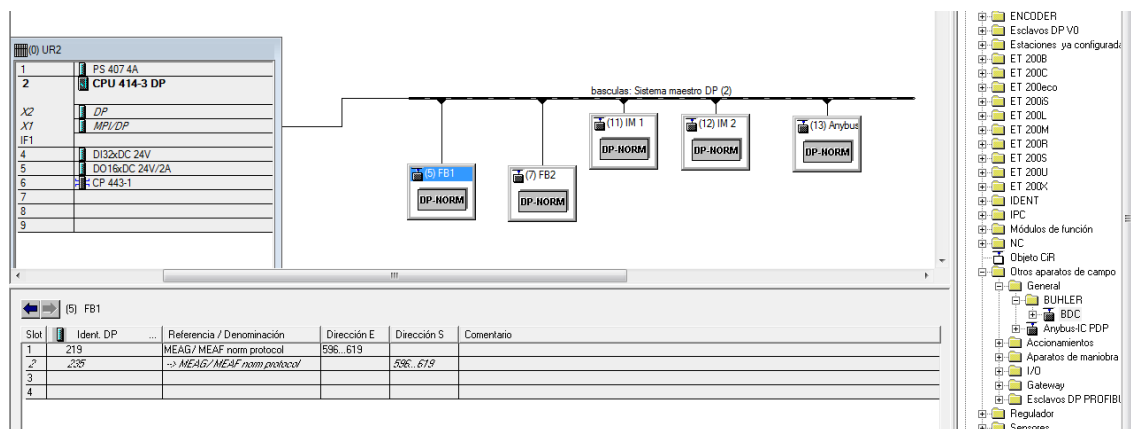
Figura 28. Vista de equipos cuyos archivos GSDML instalados



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

- Seleccionamos en este menú el equipo que queremos insertar en la red y en qué punto de la red lo vamos a agregar, arrastrando el equipo a la pantalla de la izquierda y soltando en el punto donde queremos agregarlo.
- Una vez agregado el equipo en la red, lo seleccionamos para ver sus parámetros. Ahí le asignamos las direcciones Profibus de entrada y salida para poder comunicarnos. Debemos asegurarnos que estas direcciones no estén en uso, para no crear conflictos en la red.

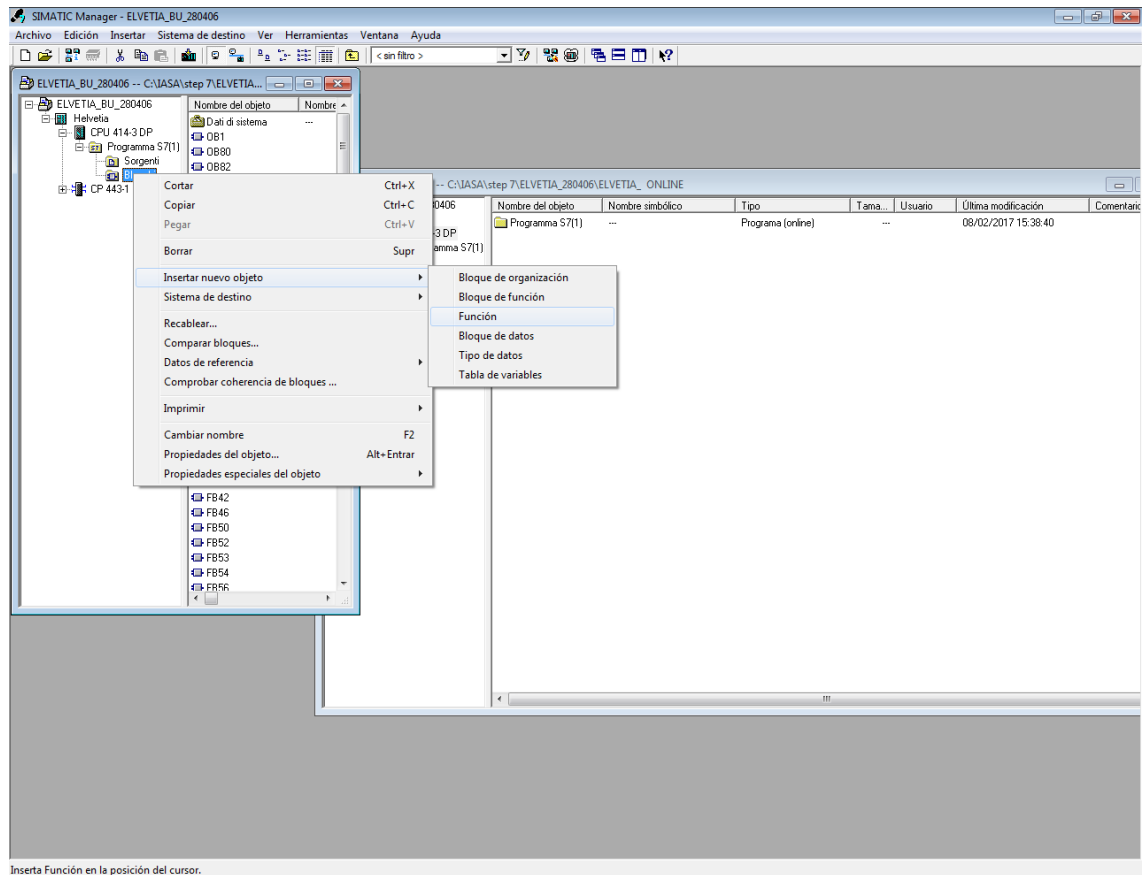
Figura 29. Vista de parámetros de un equipo instalado en la red



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15

- Para finalizar, cerramos la ventana HW Config y de esta manera, ya está creado el hardware en la red.
- Para agregar el bloque donde crearemos la programación de las funciones del equipo, en el menú de la izquierda seleccionamos Bloques y con *click* derecho aparecerá un menú. Seleccionamos insertar nuevo objeto y en el submenú seleccionamos Función.
- Acá se agrega la programación que se desea hacer. Usualmente, solo se deja habilitado *ON/OFF* de forma remota, ya que los equipos traen sus funciones propias y se debe seleccionar localmente la forma de funcionamiento.

Figura 30. Vista de opción Función para insertar nueva programación



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

Figura 31. Vista de propiedades del bloque de funciones

Propiedades - Bloque de función

General - 1ª parte | General - 2ª parte | Llamadas | Atributos

Nombre: FC1

Nombre simbólico:

Comentario del símbolo:

Lenguaje: STL

Ruta del proyecto:

Ubicación del proyecto: C:\Siemens\Step7\S7proj\Gettin_1

	Código	Interface
Fecha de creación:	18/05/2000 14:11:50	
Última modificación:	18/05/2000 14:11:50	18/05/2000 14:11:50

Comentario:

OK Cancelar Ayuda

Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

- Debemos guardar y compilar los cambios hechos en el programa yendo al menú "Equipo > Guardar y compilar". Esto nos permite guardar los cambios y a la vez, verificar que no tenga errores; si solo seleccionamos Guardar, no se verificará si la programación tiene algún error.

2.8. Puesta en marcha y pruebas de funcionamiento

- Para cargar la configuración anterior en el PLC primero debemos conectar la PG con la CPU destino, en este caso, por medio del cable tipo PG, conectado a las interfaces Profibus en la PG y en PLC.

- El PLC debe estar en un modo operativo que permita cargar el programa; tiene las opciones STOP o RUN-P. El modo RUN-P, permite transferir bloque por bloque y si hubiera algún conflicto el PLC pasa al estado operativo STOP. Por esto se recomienda cambiar la CPU a STOP desde el inicio, antes de cargar.

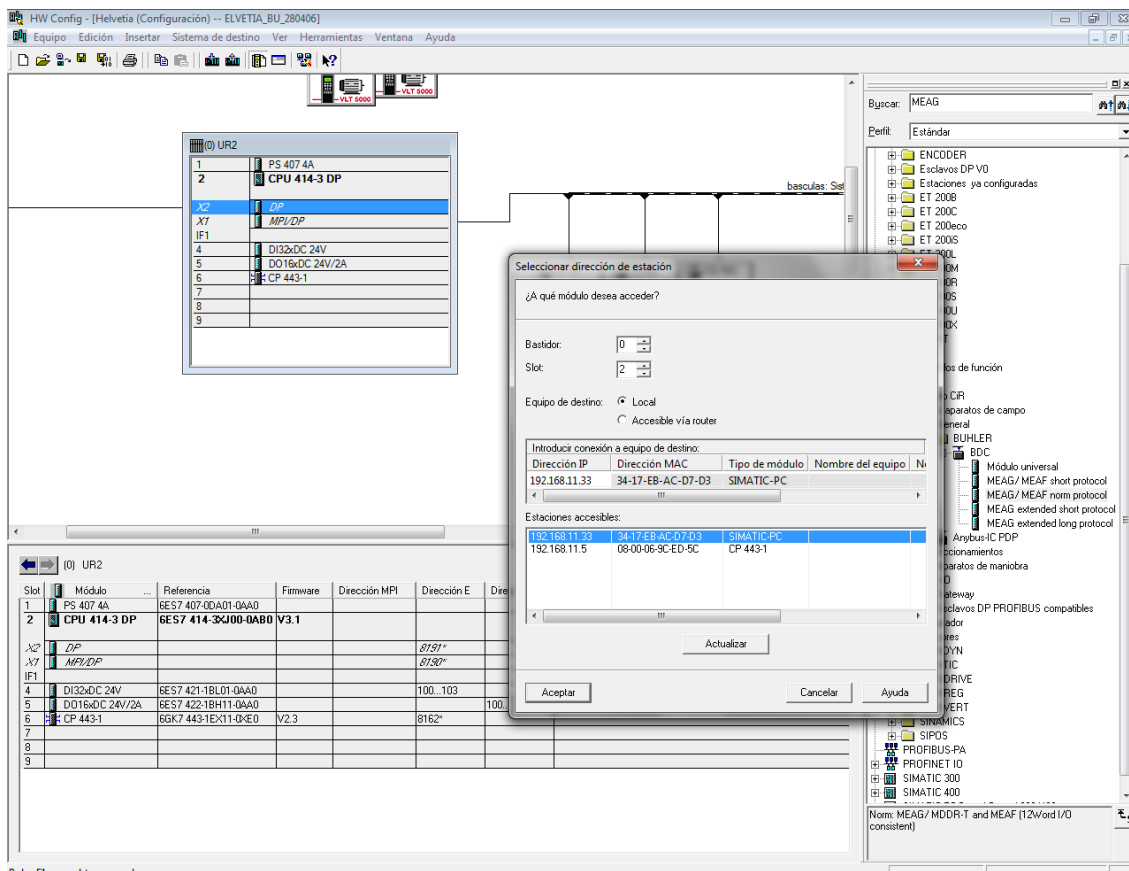
Figura 32. **PLC instalado**



Fuente: elaboración propia.

- Debemos ir al menú “Sistema de destino > Cargar” y seleccionar el equipo en el cual vamos a cargar la información. En este caso, es la CP443-1.

Figura 33. Vista de opción cargar en STEP 7



Fuente: elaboración propia, empleando Software STEP 7 Safety Advanced V15.

- Luego, hay que regresar el PLC al estado RUN.

2.9. Recopilación de resultados

- Al conectar eléctricamente el dosificador a la red sin haber cargado la programación anteriormente, la red se va a falla, lo que provoca que el molino pare de funcionar hasta eliminar la falla.

- Al pasar el PLC a *STOP* y cargar la programación nueva, se pudo conectar eléctricamente el equipo nuevo en la red sin afectar el sistema.
- Al iniciar nuevamente la operación del PLC, el sistema no reconocía el dosificador y daba error de comunicación.
- Se verificó que la dirección Profibus en el dosificador no estaba bien asignado, por lo que se procedió a modificarlo.
- Luego de estas correcciones, la red quedó habilitada y sin errores.

3. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo, se hace un análisis de costos para poder agregar el dosificador nuevo en la red. No se consideran los costos de los equipos ya existentes en la red (tablero de control, PLC, cableado de red existente, fuentes de alimentación 110VAC/24VDC, otros).

3.1. Costos de materiales

A continuación, se hace un desglose de los costos de los equipos necesarios para hacer la implementación del sistema descrito, así como de materiales y personal necesario para dicha implementación.

Tabla I. **Dosificador de aditivos para harina de trigo**

Cantidad	Material	Costo unitario	Costo total
1	Dosificador de aditivos Bühler MEAG/MEAN	Q110 385,35	Q110 385,35

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Cable y accesorios Profibus**

Cantidad	Material	Costo unitario	Costo total
1	Conectores Profibus 6GK1500-0FC10	Q350,00	Q350,00
50	Metros de cable Profibus	Q35,00	Q1 750,00
	Total		Q2 100,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Software de programación para integrar el dosificador a la red**

Cantidad	Material	Costo unitario	Costo total
1	STEP 7	Q33 380,00	Q33 380,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Materiales consumibles**

Cantidad	Material	Costo unitario	Costo total
1	Protección termomagnética 5SY6104-7	Q280,00	Q280,00
15	Tubos tipo galvanizado HG de 3/4	Q71,40	Q1 071,00
14	Coplas de 3/4 galvanizado HG	Q7,00	Q98,00
6	Condulet tipo " C " de 3/4	Q29,40	Q17,40
35	Abrazaderas unicanal	Q4,20	Q147,00
4	Rieles de unicanal de 4 x 4 cm tipo liso	Q109,20	Q436,80
20	Tarugos tipo Bolt de 3/8 con tornillos y arandelas	Q22,40	Q448,00
6	Mts de tubo LT de 3/4	Q11,20	Q67,20
2	Conectores rectos LT de ¾	Q25,20	Q50,40
50	Metros de cable 3 x 1.5 mm	Q11,20	Q560,00
6	Punteras para cables	Q0,25	Q1,50
8	Identificadores de cables	Q0,10	Q0,80
1	Cinta identificadora de equipos	Q70,00	Q70,00
	Total		Q3 407,10

Fuente: elaboración propia.

3.2. Personal a contratar para la ejecución de la obra

Para los trabajos de instalación eléctrica, el personal técnico a contratar debe tener al menos estudios de nivel diversificado de electricidad, electrónica o similar, saber manejar herramientas como cortalambres, destornilladores, rotulador de cables; experiencia en instalaciones eléctricas industriales, instalación de cables eléctricos en tuberías o bandejas, conexión de cables de comunicación industrial Profibus, conectores Profibus, entre otros.

Para los trabajos de programación, el personal de ingeniería debe tener estudios universitarios de electricidad, electrónica, programación o similares, experiencia en paquetes de programación Step7 Siemens, detección de fallas eléctricas, fallas de software de PLC, fallas de hardware de PLC, entre otros.

Se requieren tres días de trabajo de tres técnicos electricistas en horario normal de lunes a viernes para instalación de tuberías, soportes, perforaciones, tendido de cableado eléctrico de alimentación, cableado de comunicación Profibus, accesorios eléctricos, entre otros. Un día de trabajo de un ingeniero para integración de hardware nuevo en la red Profibus, un día de trabajo para desarrollo de nueva programación de software para integración de nuevo equipo en red Profibus, dos días de trabajo para descarga de nueva programación en PLC y pruebas de funcionamiento. El pago de salarios es proporcional al trabajo realizado, calculado de acuerdo al salario definido en Guatemala por el Ministerio de Trabajo, incluyendo IGSS y prestaciones.

Se deben considerar costos de viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.

- Total: Q17 900,00

3.2.1. Instalación de alimentador eléctrico del dosificador de aditivos

- Dos días de trabajo, jornada ordinaria diurna de ocho horas, de trabajo de tres técnicos electricistas en horario de lunes a viernes para tendido de cable eléctrico, conexión de puntas en transformador de alimentación, protección termomagnética, conexión de alimentación eléctrica en dosificador, entallado de punteras en terminales de cables, identificaciones de cables, tuberías, soportes para tuberías eléctricas, entre otros.
- Viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.
- Total: Q5 800,00

3.2.2. Instalación de cableado de comunicación Profibus para la integración del equipo en la red

- Un día de trabajo, jornada ordinaria diurna de ocho horas, de trabajo de tres técnicos electricistas en horario normal de lunes a viernes para tendido de cable de comunicación, conexión de puntas en conectores Profibus en PLC y dosificador, entallado de punteras en terminales de cables, identificaciones de cables.
- Viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.
- Total: Q2 900,00

3.2.3. Programación de hardware para integración al PLC

- Un día de trabajo, jornada ordinaria diurna de ocho horas, de un programador de PLC en horario normal de lunes a viernes para configuración y programación del hardware de modo que se pueda integrar a la red el dosificador nuevo.
- Viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.
- Total: Q2 300,00

3.2.4. Programación del bloque de control en PLC del nuevo aditivo

- Un día de trabajo, jornada ordinaria diurna de ocho horas, de un programador de PLC en horario normal de lunes a viernes para configuración y programación del bloque de comunicación para poder leer e interpretar los datos del dosificador nuevo.
- Viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.
- Total: Q2 300,00

3.2.5. Programación e integración a la red Profibus del dosificador

- Dos días de trabajo, jornada ordinaria diurna de ocho horas, de un programador de PLC en horario normal de lunes a viernes para integración, descarga de programa nuevo en PLC y puesta en marcha del dosificador nuevo.
- Viáticos y kilometraje para traslado y alimentación del personal en los días de trabajo.
- Total: Q4 600,00

CONCLUSIONES

1. La guía creada es un modelo funcional para el entendimiento y facilitación de la integración de equipos de dosificación de aditivos para producción de harina dentro de una red Profibus.
2. A través del desarrollo de la guía podemos analizar las características físicas y eléctricas de una red Profibus, para determinar la forma adecuada de integrar los equipos.
3. Extender físicamente una red Profibus es relativamente sencillo, pues al ser un sistema en serie, solamente debemos agregar cableado al último equipo de la red para poder integrar un equipo nuevo.
4. Es importante tomar en cuenta que los equipos electrónicos industriales están sometidos a muchos factores ambientales, como interferencias electromagnéticas, vibraciones, humedad, entre otros.
5. Para realizar la integración de equipos de dosificación nuevos en la red Profibus, es necesario analizar y establecer datos sobre el tipo de red Profibus existente, tomar en cuenta la velocidad de transmisión a la cual funciona la red, la cantidad de equipos dentro de la red, la dirección Profibus a asignar al equipo nuevo, las distancias entre equipos y protecciones eléctricas para los equipos nuevos.

6. Cuando se analiza una implementación de equipos nuevos dentro de una red Profibus hay que considerar el costo inicial de dicha implementación, ya que, al no ser equipos baratos, debe tomarse en cuenta el capital necesario para dicha implementación.
7. Con la implementación de un sistema automatizado por medio de una red Profibus podemos optimizar el tiempo de los trabajadores, ya que no es necesario que estén verificando cada paso del proceso, dejando los trabajos repetitivos a los equipos integrados.
8. Al automatizar un proceso como la dosificación, es posible mejorar la calidad del producto final, ya que la exactitud y precisión de los equipos instalados permite tener un producto final homogéneo, a diferencia de si una persona está periódicamente ajustando y validando datos.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que personal técnico capacitado realice los trabajos de instalación eléctrica, así como personal con conocimiento de electrónica y programación para la integración del nuevo equipo.
2. Para agregar cualquier equipo nuevo en la red hay que tener el PLC en modo *STOP*, lo que significa literalmente que detiene todas sus actividades, por lo que hay que tomar en cuenta este tiempo de paro de actividades.
3. Antes de conectar los equipos, se debe validar que la red tenga suficientes direcciones Profibus libres, así como verificar que el punto donde se harán las conexiones eléctricas tenga capacidad suficiente de voltaje y amperaje para dichas conexiones.
4. Es importante revisar las rutas del cableado eléctrico y de comunicación, para no saturar las tuberías o bandejas de cableado, así como no mezclar en una misma tubería o bandeja la alimentación eléctrica con la comunicación, pues se puede crear interferencia.
5. Verificar que el último equipo de la red tenga la resistencia terminal de red, para evitar interferencias en la comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMBROCIO, Alberto; RAMÍREZ, Erick. *Industrias en Quetzaltenango. Departamento de Investigaciones de la División de Ciencias Económicas -DICE-, CUNOC-USAC.* [en línea]. <<http://dice2013.blogspot.com/2013/10/industrias-quetzaltenango.html>>. [consulta: 23 mayo 2017].
2. AWC. *SIMATIC S7 STEP 7 Prof 2017/V15 combo incl. TIA Portal, Floating License* [en línea]. <<https://www.awc-inc.com/InventorySearchResults.aspx?partkey=1627058>>. [consulta: 04 febrero 2019].
3. Bühler AG. *Instrucciones de Servicio Mando Universal MEAG.* Suiza, 2009. 56 p.
4. DAVIE, Alberto G. *Introducción a la automatización industrial.* 2a ed. Buenos Aires: Universitaria, 1974. 259 p.
5. GUERRERO, Vicente; YUSTE, Ramón; MARTÍNEZ, Luis. *Comunicaciones Industriales.* México: Marcombo ediciones técnicas, 2012. 410 p.
6. GUTIÉRREZ CORONA, Gustavo; DE LA MORA GÁLVEZ, Alberto; GALVÁN MORALES, Enrique; CÁRDENAS RODRÍGUEZ, Roberto. *Automatización.* 6a ed. México: Amate, 2010. 310 p.

7. International Standard IEC 61131-1. *Programmable controllers – Part 1: General information*. 2a ed. Suiza: International Electrotechnical Commission, 2003. 36 p.
8. Lapp Engineering & Co. *Buses de Campo* [en línea]. <<https://lappespana.lappgroup.com/buses-de-comunicacion.html>>. [consulta: 03 junio 2018].
9. Molinos Centia. *Nuestra Historia* [en línea]. <<https://molinoscentia.com/index.php/historia/>>. [consulta: 23 mayo 2017].
10. Ministerio de Trabajo Gobierno de Guatemala. *Salario Mínimo*. [en línea]. <<https://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/dgt/salario-minimo>>. [consulta: 04 febrero 2019].
11. Molinos Modernos, S.A. *¡Conoce Nuestra Historia!* [en línea]. <https://www.cmimolinosmodernos.com/molinos-modernos-historia> [consulta: 23 mayo 2017].
12. Prillwitz y Cía SRL. *Molinos Harineros de Trigo y Maíz* [en línea]. <<https://www.prillwitz.com.ar/molinos-harineros-de-trigo-y-maiz/>>. [consulta: 25 enero 2018].
13. SANCHIS LLOPIS, Roberto; ROMERO PÉREZ, Julio Ariel; ARIÑO LATORRE, Carlos Vicente. *Automatización Industrial*. España: Publicaciones de la Universitat Jaume I, 2010. 257 p.
14. Siemens. *Getting Started STEP 7*. Alemania: 2010. 112 p.

15. VON HOEGEN, Miguel. *Las formas de producción indígena y su comparación con la forma de producción capitalista*. Guatemala: IV Época, no.76. Guatemala URL, IDIES 2006, Revista Estudios Sociales, 2006. 149 p.

