



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

SISTEMA DE RACIONAMIENTO INDIVIDUALIZADO EN GRANJA LECHERA BOVINA

INDIVIDUAL FEEDING SYSTEM IN BOVINE DAIRY FARM

Autor

Pablo García Carbonell

Director

Juan Carlos Sánchez Catalán

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2018



**Escuela Universitaria
Politécnica** - La Almunia
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

**SISTEMA DE RACIONAMIENTO
INDIVIDUALIZADO EN GRANJA LECHERA
BOVINA**

**INDIVIDUAL FEEDING SYSTEM IN BOVINE
DAIRY FARM**

424.18.64

Autor: Pablo García Carbonell

Director: Juan Carlos Sánchez Catalán

Fecha: 23 noviembre 2018

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
3.1. OBJETIVOS	3
4. JUSTIFICACIONES DEL PROYECTO	4
4.1. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	4
5. ANTECEDENTES	5
5.1. SISTEMAS TRADICIONALES	5
5.1.1. <i>Tolva de libre acceso</i>	5
5.1.2. <i>Caída lenta con sistema de activación</i>	6
5.2. SISTEMAS AUTOMATIZADOS	6
5.2.1. <i>Sistema mediante PLC</i>	6
5.2.2. <i>Sistema de Alimentación individual</i>	7
5.2.3. <i>Mezclador automatizado inteligente</i>	8
5.2.4. <i>Monitorización por reconocimiento facial</i>	9
6. MARCO TEÓRICO	10
6.1. PRODUCTO	10
6.1.1. <i>Raza del animal</i>	10
6.1.1.1. Holstein	11
6.1.1.2. Ayrshire	11
6.1.1.3. Pardo suiza	12
6.1.2. <i>Forrajes</i>	12
6.1.2.1. Factores nutricionales	13
6.1.2.2. Cantidades de forraje	15
6.2. EQUIPOS METÁLICOS	18
6.2.1. <i>Silos metálicos</i>	18
6.2.1.1. Silos de torre	18
6.2.1.2. Silos de bunker	19

INDICES

6.2.1.3.	Tanques de producto	20
6.2.2.	<i>Cintas transportadoras</i>	21
6.3.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE	23
6.3.1.	<i>Arquitectura interna del PLC</i>	25
6.3.1.1.	Unidad central de proceso	25
6.3.2.	<i>Módulos E/S</i>	27
6.3.3.	<i>Variadores de frecuencia</i>	28
6.3.4.	<i>Sensores de campo</i>	30
6.3.4.1.	Transmisores de Temperatura (TT)	31
6.3.4.2.	Transmisores de Presión (PT)	32
6.3.4.3.	Transmisores de Nivel (LT)	34
6.3.4.4.	Otros transmisores	35
6.4.	COMUNICACIONES INDUSTRIALES	37
6.4.1.	<i>Control centralizado</i>	38
6.4.2.	<i>Control distribuido</i>	39
6.4.2.1.	Nivel E/S (Sensores y actuadores)	40
6.4.2.2.	Nivel de campo (PLC's)	41
6.4.2.3.	Nivel de control (SCADA)	42
6.4.2.4.	Nivel de gestión (MES & ERP)	42
6.4.3.	<i>Tipos de comunicaciones industriales</i>	43
6.4.3.1.	PROFIBUS	43
6.4.3.2.	PROFINET	47
6.4.3.3.	AS-interface	49
6.4.4.	<i>SCADA</i>	51
6.4.5.	<i>Lenguajes de programación</i>	53
6.5.	ROCKWELL AUTOMATION	57
6.5.1.	<i>E/S y actuadores</i>	61
6.5.2.	<i>Software</i>	64
6.6.	SIEMENS	65
6.6.1.	<i>CPU</i>	65
6.6.2.	<i>E/S y actuadores</i>	68
6.6.3.	<i>Software</i>	71
6.7.	CLIMATIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO	72
6.8.	SOLUCIONES ADOPTADAS	78
6.8.1.	<i>Equipos metálicos</i>	78
6.8.2.	<i>Sistemas de automatización</i>	78
6.8.2.1.	Controlador lógico programable	78
6.8.2.2.	Módulos E/S	78

6.8.2.3.	Variadores de frecuencia _____	79
6.8.2.4.	Comunicaciones industriales _____	79
6.8.3.	<i>Elementos de campo</i> _____	79
6.8.3.1.	Transmisores de presión (PT) _____	79
6.8.3.2.	Transmisores de caudal (FT) _____	79
6.8.3.3.	Válvulas de suministro de agua (V) _____	80
6.8.3.4.	Actuadores (ACT) _____	80
6.8.3.5.	Control TAG RFID(TAG) _____	80
7.	DESARROLLO _____	82
7.1.	DIAGRAMA GANTT _____	82
7.2.	EXPLICACIÓN DEL PROCESO _____	84
7.2.1.	<i>Área 1: Área de recepción</i> _____	85
7.2.2.	<i>Área 2: Área de mezclado</i> _____	86
7.2.3.	<i>Área 3: Área de clasificación</i> _____	87
7.2.4.	<i>Área 4: Área de suministro de alimento</i> _____	89
7.2.5.	<i>Área 5: Área de suministro de agua</i> _____	90
7.3.	TOPOLOGÍA DE RED _____	91
7.3.1.1.	Tarjetas Salidas Analógicas _____	93
7.3.1.2.	Tarjetas Entradas Analógicas _____	93
7.3.1.3.	Tarjetas Salidas Digitales _____	93
7.3.1.4.	Tarjetas Entradas Digitales _____	94
7.3.1.5.	Switches _____	94
7.3.1.6.	Variadores de Frecuencia _____	95
7.3.1.1.	Controladores TAG RFID _____	95
7.3.1.1.	Otros módulos _____	96
7.4.	LISTADO DE SEÑALES _____	101
7.5.	SCADA _____	106
7.6.	PROGRAMACIÓN _____	110
7.7.	COMISIONADO _____	112
7.7.1.	<i>Verificación Cliente</i> _____	112
7.7.2.	<i>Test de elementos</i> _____	112
7.7.3.	<i>Puesta en marcha</i> _____	112
7.7.4.	<i>Servicios postventa</i> _____	113
8.	CONCLUSIONES _____	114
9.	BIBLIOGRAFÍA _____	116

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Tolva de acceso libre	5
Ilustración 2 Caída lenta con regulador electrónico	6
Ilustración 3 SCADA Granja Fageda	7
Ilustración 4 Sistema Individualizado	8
Ilustración 5 GEAMixer	8
Ilustración 6 Reconocimiento Facial.....	9
Ilustración 7. Vaca Holstein.....	11
Ilustración 8. Vaca Ayrshire	11
Ilustración 9. Vaca Pardo Suiza	12
Ilustración 10. Silo de torre	19
Ilustración 11. Silo bunker.....	19
Ilustración 12. Tanque metálico.....	20
Ilustración 13. Cinta transportadora con accesorios	21
Ilustración 14. Estación de automatización " Siemens"	23
Ilustración 15. Diagrama CPU.....	25
Ilustración 16. Tipos de señales de entrada.....	27
Ilustración 17 VDF Instalado en armario eléctrico	29
Ilustración 18 Onda sinusoidal (Hz) por variación de ciclo de onda cuadrada	30
Ilustración 19 Partes transmisor TT.....	31
Ilustración 20 Receptores TT.....	32
Ilustración 21 Sensor piezoresistivo de presión.....	33
Ilustración 22 PT Manométrica Industrial	33
Ilustración 23 Transmisores de Nivel	34
Ilustración 24 LT Marca Rosemount	34
Ilustración 25 Sensor IR para medición CO2	35

Ilustración 26 Protocolos industriales	37
Ilustración 27 Sistema centralizado.....	38
Ilustración 28 Sistema distribuido	39
Ilustración 29 Pirámide de CIM	40
Ilustración 30 Logo comercial PROFIBUS	43
Ilustración 31 Niveles dentro del ámbito de operación	45
Ilustración 32 Red anillo PROFIBUS.....	45
Ilustración 33 PROFINET.....	47
Ilustración 34 Tipos de transmisión de datos	48
Ilustración 35 AS-i Logo	49
Ilustración 36 método de conexionado vampiro AS-i	50
Ilustración 37 Red convencional (a) / Red AS-i (b).....	50
Ilustración 38 Ejemplo SCADA.....	52
Ilustración 39 Ladder Logic	53
Ilustración 40 AWL.....	54
Ilustración 41 SCL	54
Ilustración 42 Ciclo de ejecución Siemens.....	55
Ilustración 43 Marcas Automatización.....	56
Ilustración 44 Logo Rockwell Automation	57
Ilustración 45 Controlador PLC-5	58
Ilustración 46 MicroLogix 1000	59
Ilustración 47 Hand-Held Programmer.....	59
Ilustración 48 SLC 500 Modular	61
Ilustración 49 Módulos E/S Serie 1746	62
Ilustración 50 Familia de variadores PowerFlex 523	62
Ilustración 51 VersaView 5400	63
Ilustración 52 Logo Siemens Automation & Drives	65
Ilustración 53 SIMATIC S7-1200 CPU	66

INDICES

Ilustración 54 S7 1500	67
Ilustración 55 ET-200AL	68
Ilustración 56 ET-200MP.....	69
Ilustración 57 ET-200SP	69
Ilustración 58 SINAMICS G120C.....	70
Ilustración 59 Comfort Panel	71
Ilustración 60 Ventilación por depresión	75
Ilustración 61 Ventilación por sobrepresión	76
Ilustración 62 Diagrama de desarrollo	81
Ilustración 63 GANTT	83
Ilustración 64 GRAFCET A001.....	86
Ilustración 65 GRAFCET A002.....	87
Ilustración 66 GRAFCET A003.....	88
Ilustración 67 A004.....	90
Ilustración 68 GRAFCET A005.....	91
Ilustración 69 Rack 01 Tarjetas I/O.....	98
Ilustración 70 Topología de Red.....	99
Ilustración 71 SCADA - A001 "Área de Recepción"	106
Ilustración 72 SCADA - A002 "Área de Mezcla"	107
Ilustración 73 SCADA - A003 "Área de Clasificado"	107
Ilustración 74 SCADA - A004 "Área de Suministro de comida"	108
Ilustración 75 SCADA - A005 "Área de Suministro de agua"	108
Ilustración 76 Activaciones Válvulas.....	109
Ilustración 77 Diagrama de proceso	110



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones nutricionales para vacas lecheras	13
Tabla 2 Requerimientos energeticos	14
Tabla 3. Requerimientos según producción	15
Tabla 4. Consumo de materia seca para vacas lecheras	17
Tabla 5 Bloques SCADA	51
Tabla 6 Configuraciones electrónicas MicroLogix	60
Tabla 7 Espacio necesario por especie	73
Tabla 8 Temperaturas optimas ganado Bovino.....	74
Tabla 9 Elementos de Control.....	92
Tabla 10 Distribución Hardware	97
Tabla 11 Direccionamiento Hardware	100
Tabla 12 Listado Señales AI	101
Tabla 13 Listado Señales AO	102
Tabla 14 Listado Señales DI	102
Tabla 15 Listado señales DO	104

1. RESUMEN

El objetivo del presente documento que se pretende exponer consiste en dar solución a la automatización control y monitorización de un proceso productivo dedicado al racionamiento individualizado dentro de una granja lechera bovina, con el fin de aumentar la producción de la misma.

Dicho racionamiento será llevado a cabo mediante líneas de cintas transportadoras y sistemas electroneumáticos entre otros. El racionamiento se realizará mediante el estudio inicial de las condiciones diarias del animal, para posteriormente seleccionar una de las recetas existentes y suministrársela al animal. Con esto se conseguirá realizar una alimentación individualizada para cada uno de los animales atendiendo a sus necesidades. A su vez se implementará el guiado del animal desde el área de ordeño hasta el habitáculo establecido de manera automatizada.

Para llevar a cabo todo el sistema se partirá de las especificaciones del cliente, así como de los planos ejecutados por los demás departamentos del proyecto. Las tareas de este proyecto radicarán en el diseño y programación del sistema para su control.

1.1. PALABRAS CLAVE

- Automatización
- PLC
- Siemens
- SCADA
- Racionamiento
- HMI

2. ABSTRACT

The goal of this Project is to explain the different parts of a real Automation Project, desing, control and display of a feeding system in a Dairy bovine farm like a solution to improve the Dairy milk production.

The solution consists in a production line of five areas connected by conveyer belts wich are prepared by neumatic valves to supply the feeders. The improvement of this systems is a qeue of récpes wich are selected by a equation with the parameters from the milking área. With this parameters the system choose the récipe wich is better for the animal. Parallel ti the feeding system, the Automation guide the animal from the milking área to the feeder according with the récipe, to prevent a wrong provisioning.

3. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto consistirá en la automatización completa de una granja bovina dedicada a la producción de leche. La mejora que se trata de abordar con este proyecto radica, en la mejora de los sistemas de alimentación de los animales, con el fin de aumentar la eficiencia en la producción diaria, mejorando las condiciones del animal.

Se partirá de la premisa donde las instalaciones de la granja ya se encuentran construidas, dado que se pretende realizar una estandarización de esta automatización con el fin de abarcar el mayor número posible de granjas donde se pueda llegar a una implementación real. Pudiendo así satisfacer a granjas pequeñas familiares sin ningún tipo de automatización previa dentro de sus instalaciones, como la implementación de dicha automatización de manera sinérgica con sistemas automatizados vigentes como pudieran ser ordeñadoras automatizadas.

3.1. OBJETIVOS

El proceso consistirá en un control automatizado de las raciones diarias de los animales, dependiendo de una serie de valores aportados después del ordeñado al inicio del día, intentando así, realizar un seguimiento y un trato individualizado de cada animal.

Estas pautas han sido seleccionadas como imprescindibles a la hora de realizar un control alimenticio de los ejemplares para optimizar la curva de lactación que producen. Es por ello que se deberán implementar sistemas que permitan de manera individualizada analizar, contrastar y decidir sobre la ración que deberá llevar cada ejemplar, garantizando a su vez el estado óptimo del mismo. Dado que se pretende satisfacer todos los factores que conlleva una nueva automatización, serán necesario realizar una valorización de todos los elementos de campo necesarios, así como los pertinentes sistemas a instalar en el proyecto sobre la parte de automatización, dando por instalados los equipos mecánicos necesarios y los equipos eléctricos. Con la utilización de sistemas de automatización se conseguirá a su vez la vez un mayor aumento de la productividad respecto a los sistemas de alimentación tradicionales, implementando para ello técnicas novedosas y punteras en el racionamiento de alimentos. Paralelamente, la utilización de sistemas de control individualizado del ganado, se conseguirá tener una trazabilidad y una serie de históricos que permitan conocer en todo momento la situación de cada uno de los animales.

4. JUSTIFICACIONES DEL PROYECTO

Queriendo buscar una solución estandarizada, también se tendrán en cuenta los factores que a un cliente genérico le pueden interesar. Para ello es importante entrar en el contexto de un cliente y especificar una serie de condiciones y necesidades genéricas, que optimicen los procesos productivos generales de este sector.

4.1. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso consiste en la completa automatización en el sistema de alimentación de una granja lechera bovina, la cual sea capaz de satisfacer las necesidades del animal a lo largo de toda su jornada productiva. El cliente en cuestión cuenta con una estabulación abierta la cual alberga un número total de 120 vacas en rendimiento óptimo. Dicho proceso comienza una vez cabezas de ganado han sido ordeñadas a primera hora de la mañana, y una vez analizado el producto obtenido de cada una de ellas, el sistema propuesto sea capaz de solventar las aportaciones calóricas para cada una de ellas a lo largo de la jornada. Se centrará el proyecto en el ámbito de las vacas lecheras en proceso productivo óptimo, excluyendo de este a las vacas en estado de gestación y a los terneros, a fin de garantizar un cuidado más individual por parte del ganadero.

Esta automatización radica en la necesidad minimizar la intervención del cliente en la alimentación de los animales para poder centrarse en otras tareas diarias, garantizando, además, un trato más particular con el animal y optimizando su ingesta necesaria diaria. Es por ello que la ración diaria de cada uno de ellos es conocida una vez han sido analizadas sus muestras de producto, dado que gracias a dichos análisis se podrá aportar una solución particular.

Para poder llevar a cabo esta automatización será necesaria la implementación de una línea completamente nueva, dado que actualmente el sistema de racionamiento se realiza a mano o con maquinaria sin automatizar. Se buscarán automatizaciones gobernadas por PLC y sus pertinentes elementos de campo y seguridades.

Este proyecto únicamente se centrará en el desarrollo de la automatización del proceso, dando por hecho los pertinentes montajes mecánicos y eléctricos. Para ello se elaborarán plano P&ID explicativos del proceso.

5. ANTECEDENTES

5.1. SISTEMAS TRADICIONALES

A lo largo de la industrialización, se han desarrollado distintas metodologías y sistemas dedicados al racionamiento y a la alimentación dentro del sector de las granjas bovinas. Para ello se citarán primero los sistemas iniciales cuyos sistemas carecen de una automatización, o en su defecto sistemas básicos de automatización.

5.1.1. Tolva de libre acceso

Sistema carente de ningún tipo de automatización, en el que animal accede a el en cualquier momento del día y al que se le suministra la cantidad vigente dentro de la tolva. En instalaciones pequeñas, este sistema es óptimo, dado que consigue mantener un control directo por el operario, conociendo las ingestas diarias de cada uno de los animales.



Ilustración 1 Tolva de acceso libre

Su principal desventaja aparece ante la necesidad de realizar limpiezas manuales en los fondos del mismo producido por el grano aplastado o viejo que con el paso del tiempo se deteriora y no se consume. A su vez este sistema queda inservible ante explotaciones de carácter mayor dado que requeriría la utilización de un gran número de operarios dentro de la misma para su control riguroso y evitar la desnutrición de algunos animales.

Antecedentes

5.1.2. Caída lenta con sistema de activación

En este caso, se sustituye el suministro tradicional del alimento, mediante una solicitud electrónica del animal accionado por el propio animal. La ventaja producida por este sistema ofrece un aprovechamiento mayor del alimento dado que se raciona en tiempo real y no se desaprovechan los fondos.

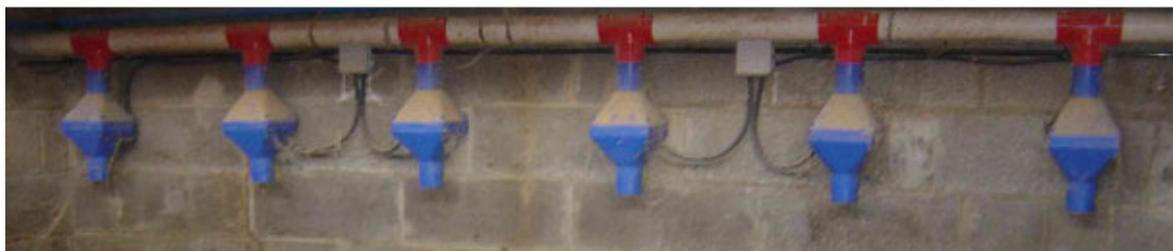


Ilustración 2 Caída lenta con regulador electrónico

Este sistema también ofrece la posibilidad de optimizar el propio sistema mediante un regulador electrónico que de forma predefinida controle las ingestas durante el día del animal, siempre y cuando se respete la ingesta diaria.

5.2. SISTEMAS AUTOMATIZADOS

5.2.1. Sistema mediante PLC

En la actualidad, los sistemas controladores lógicos programables se encuentran muy presentes dentro de todas las industrias dada su versatilidad y eficiencia en la mayoría de sectores. Este tipo de equipos dentro de la industria ganadera incluye la posibilidad de su implementación dentro de todo tipo de condiciones: Sanitarias, atmosferas explosivas, etc....

La principal ventaja de los sistemas implementados con PLC radica en la comodidad tanto para su programación como sus posteriores ampliaciones, así como su gestión de los datos de todo el sistema en tiempo real. A su vez este tipo de sistemas abre las puertas a su implementación conjunta a la industria 4.0 gracias a la posibilidad de realizar la trazabilidad en tiempo real de componentes importantes dentro de la industria como pueden ser: Celo de los animales, climatización de la instalación, control de posición de los animales, estado de los comederos, etc...

Este tipo de sistemas también ofrecen al propio cliente la posibilidad de manejar e interactuar con el sistema mediante la utilización de HMI ofreciendo entornos intuitivos para el cliente, la utilización de los sistemas SCADA ofrecen este tipo de posibilidades

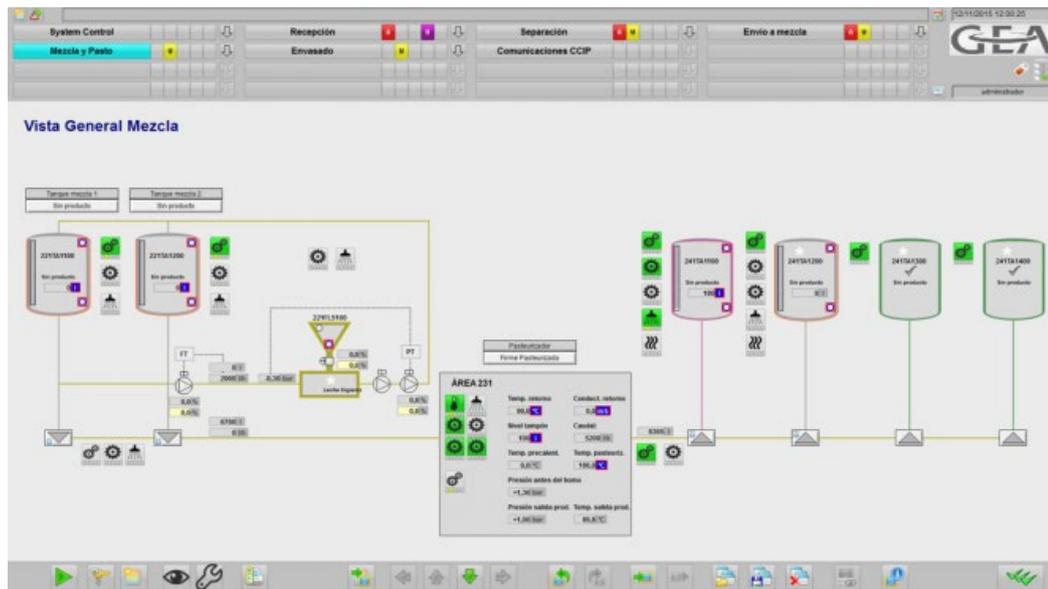


Ilustración 3 SCADA Granja Fageda

5.2.2. Sistema de Alimentación individual

Algunas empresas actuales apuestan por la utilización de sistemas innovadores como es el caso de sistemas inteligentes. La propuesta ofrece la posibilidad de realizar una alimentación de acuerdo con las necesidades actuales, calculando para ello automáticamente la cantidad ofrecida. A su vez ofrece la posibilidad de optimizar los sistemas de producción reduciendo de esta forma los gastos generales de alimentación.

Este sistema es instalado dentro del habitáculo del animal, creando la necesidad de suprimir las estabulaciones abiertas y manteniendo los animales en habitáculos independientes. Implementando

La principal ventaja de este sistema consiste en la posibilidad de condicionar los alimentos básicos mediante el suministro de suplementos necesarios para los animales dependiendo de la fase en la que se encuentren.



Ilustración 4 Sistema Individualizado

5.2.3. Mezclador automatizado inteligente

Otra solución existente para el racionamiento consiste en el racionamiento automatizado de distintos componentes, suministrado de forma equitativa a todos los animales de la estabulación. El sistema consiste en un Mixer dotado de railes cuyo grado de libertad se resume en el movimiento paralelo sobre los habitáculos. Este sistema es abastecido por un área anterior establecido mediante el propio operario, a su vez el operario puede conocer en todo momento y en tiempo real la situación del sistema, gracias a un software propio controlado mediante PC, HMI, o dispositivo móvil).

De esta forma se garantiza el racionamiento de todos los animales de manera equitativa con las raciones exactas previamente establecidas.



Ilustración 5 GEAMixer

5.2.4. Monitorización por reconocimiento facial

De manera conjunta al propio racionamiento, se apuesta también por la monitorización en tiempo real del ganado mediante la utilización de cámaras digitales que gracias a visión artificial monitoricen ciertos parámetros a tener en cuenta por el animal como: Comportamiento, consumo de pienso, ingesta de agua, cojeras, estrés calórico, etc. que en caso de encontrar anomalías alerten al operario de ellas.



Ilustración 6 Reconocimiento Facial

6. MARCO TEÓRICO

Para poder llevar a cabo una correcta selección de todos los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto, se realizará un estudio y análisis de todos ellos. Esto supondrá una comparación de todos los seleccionados a fin de seleccionar aquellos capaces de desarrollar las tareas precisas de la manera más eficaz y optimizada posible.

Queriendo realizar un mejor análisis se dividirá este apartado en los siguientes campos, para poder llevar a cabo un análisis más exhaustivo de los equipos particulares. Los campos generales son los siguientes:

- Productos
- Equipos metálicos
- Controlador lógico programable
- Comunicaciones industriales
- E/S y actuadores
- Elementos de campo
- Equipos informáticos

6.1. PRODUCTO

En este apartado se deberá tener en cuenta para poder llevar a cabo el desarrollo del proyecto, todos los factores generados del producto con el que se va trabajar, y que dependiendo de su selección se verán modificados los demás equipos. Estarán basados tanto en la raza del animal su alimentación.

6.1.1. Raza del animal

Dentro del sector de la ganadería bovina, existen infinidad de razas tanto para la producción de carne como para la producción de leche, cada cual con una serie de requerimientos y cuidados concretos necesarios para la optimización durante su vida útil. A continuación, se realizará una exposición sobre las distintas razas existentes.

6.1.1.1. *Holstein*

Esta raza, su procedencia parte de los países bajos, también conocida como frisona es la más común en la península ibérica, dado que debido a los diversos climas de la península cuenta con la característica de que puede mantener altos niveles de producción acomodándose al medio en el que se encuentra. Su principal característica consiste en cuerpo blanco con manchas negras.

Según datos de estudio su capacidad anual ronda los 12.000 litros con porcentajes de grasa en torno al 3.15% - 3.70% con un peso medio de 600kg



Ilustración 7. Vaca Holstein

6.1.1.2. *Ayrshire*

Esta raza, originaria de Escocia, cuenta con una mayor vida productiva que la mostrada anteriormente debido a la calidad tanto de sus ubres como de sus pezuñas. También cuenta con una gran fertilizada lo que en segundo plano aumenta las ganancias del ganadero. Su peso medio es de 545Kg y una producción media anual de 8100 litros con coeficientes de materia grasa en torno al 4%



Ilustración 8. Vaca Ayrshire

Marco Teórico

6.1.1.3. Pardo suiza

Esta raza procede de la zona sueca y alemana, su producción se optimiza en climas templados, y es bastante similar en números con la raza Holstein. Su peso medio ronda los 600kg-700kg y su producción de leche se sitúa en los 7000 litros anuales con un porcentaje de grasa en torno al 4%.



Ilustración 9. Vaca Pardo Suiza

Una vez expuestas las diversas razas existentes, se optará por la optimización del sistema para la **raza Holstein** debido a su mayor expansión en el área ibérica. Una vez conocida la raza se buscará las mejores combinaciones de forrajes requeridos para el animal.

6.1.2. Forrajes

Para poder realizar una selección correcta de los pertinentes equipos necesarios para el desarrollo del proceso productivo, se ha de conocer el material que se va a utilizar en el proceso, el cual condicionara todos ellos. Es por ello que se requerirá de un estudio previo de todos ellos.

El origen de la elección de realizar una ración fraccionada surge de la visualización de un aumento de la producción en vacas lecheras sobre la aportación de una ración única, debido a que, con la utilización de esta se omiten factores de aportación proteica que precisa el animal.

Para la selección de los diversos sistemas de racionamiento fraccionado se compararán diferentes tablas generadas por expertos, en los que se ajustaran las cualidades de las raciones, con los requerimientos del cliente y las capacidades de las infraestructuras que se disponen.

6.1.2.1. Factores nutricionales

Los factores a tener en cuenta para la selección de una ración fraccionada de materia seca son los siguientes: Peso de la vaca, rendimiento medio, composición de la leche, condición corporal, periodo de lactancia entre muchos otros. En la siguiente tabla se muestran las principales concentraciones nutricionales recomendadas para vacas lecheras.

Tabla 1. Concentraciones nutricionales para vacas lecheras

Peso vivo (kg)	Grasas (%)	Ganancia de P.V. (kg)	Producción de leche (kg./ día)					Ración para vacas paridas (de 0 a 3 semanas)	Secas preñadas
			7	13	20	26	33		
400	5.0	0.220	7	13	20	26	33		
500	1.5	0.275	8	17	25	33	41		
600	4.0	0.330	10	20	30	40	50		
700	3.5	0.385	12	24	36	48	60		
800	3.5	0.440	13	27	40	53	67		
Energía			I	II	III	IV	V	VI	VII
Energía neta lact.	(M cal/kg)		1.42	1.52	1.62	1.72	1.72	1.67	1.2
NDT	(% de M.S)		63	67	71	75	75	73	56
Proteína cruda	(%)		12	15	16	17	18	19	12
Fibra cruda	(%)		17	17	17	15	15	17	22
Fibra detergente ácida	(%)		21	21	21	19	19	21	27
Fibra detergente neutra	(%)		28	28	28	25	25	28	35
Calcio	(%)		0.43	0.51	0.58	0.64	0.66	0.77	0.39 (c)
Fósforo	(%)		0.28	0.33	0.37	0.41	0.41	0.48	0.24
Magnesio	(%)		0.20	0.20	0.2	0.25	0.25	0.25	0.16
Potasio	(%)		0.90	0.90	0.9	1	1	1	0.65
Vitamina A	(%)		3200	3200	3200	3200	3200	4000	4000

En estas tablas se pueden observar las variaciones significativas que existen en un primer momento por el peso del animal, así como la cantidad de grasa de su leche y la producción que tiene. Con todos estos condicionantes se establece una serie de requerimientos energéticos a satisfacer. Esta tabla puede ser utilizada para la raza seleccionada por el cliente debido a que el peso medio de la raza Holstein se encuentra entre los valores de esta, también es útil a la hora de diferenciar vacas en estado gestacionario y de terneros recién nacidos, los cuales no serán objeto de estudio de este proyecto, centrándose exclusivamente en las vacas en periodo productivo óptimo.

Los alimentos necesarios para poder satisfacer dichos requerimientos energéticos quedan reflejados también en la siguiente tabla

Tabla 2 Requerimientos energeticos

Insumos	%
Subproducto de trigo	22.0
Pepa de algodón	18.0
Maíz grano molido	27.0
Pasto de algodón	14.0
Melaza de caña	7.0
Harina de pescado 65%	10.0
Sal común	1.0
Carbonato de calcio	1.0
Premezcla de vitaminas y minerales	0.1
Valores nutricionales	
Proteína total (%)	22.98
ENL (MCal/Kg M.S.)	1.83
Ca (%)	0.95
P (%)	0.58
Se (ppm)	0.30
Zn (ppm)	40.00
Cu (ppm)	15.00
Costo (\$/ el kg)	0.90

Estos productos, son aquellos que satisfacen de mejor modo los requerimientos nutricionales del animal, es por ello que una correcta mezcla dependiendo del estado de producción en el que se encuentre el animal, condicionara en un factor bastante importante su desarrollo productivo y su vida útil. En esta tabla se puede observar que los porcentajes más altos se encuentra para los derivados del trigo y del grano de maíz, los cuales serán el pilar de la alimentación del animal.

Una vez conocido el aporte nutricional necesario, es preciso diferenciar dentro del ámbito de periodo productivo optimo, los diversos estados que un animal se puede encontrar, debido a que dentro de la ganadería se realiza una especie de barbecho dentro de las cabezas de ganado para optimizar su producción sin perjudicarla. Es por ello que se clasificaran los animales en los siguientes estados: Alta producción, media producción y baja producción. La siguiente tabla refleja de una manera eficaz las necesidades de alimento para los tres estados

Tabla 3. Requerimientos según producción

Ingredientes	Vacas Alta Kg/vaca/ día	Vacas Media Kg/vaca/ día	Vacas Baja Kg/vaca/ día
Subproducto de trigo		2.2	5.2
Maíz	3.7	3.6	
torta de soya	2.7	2.2	0.4
Harina integral de Soya	2.3		
Pepa de algodón	2.6	2.4	2.1
Hominy feed			
Melaza			0.5
Sal	0.05	0.05	0.05
Carbonato de calcio	0.18	0.12	0.15
Bicarbonato de sodio	0.29	0.16	
Profat	0.29	0.15	
Urea		0.06	0.06
Subtotal	12.0	11.0	8.5
Chala	44	41	42
TOTAL	56.0	52.0	50.5
Costo, \$/ vaca / día	12.9	9.8	6.6
Contenido Nutricional			
Proteína, %	17	15	13
Fibra cruda, %	16	16.5	19
Grasa, %	5.5	4	3.8
EN lactación, Mcal / kg.	1.68	1.62	1.51

Esta tabla, similar a la anterior individualiza las necesidades de ingredientes y contenidos nutricionales diferenciando el estado de producción en el que se encuentre el animal, pudiendo así generar recetas más particularizadas. Se puede observar en la columna correspondiente a vacas en alta producción la supresión del trigo y la utilización de productos integrales de Soya a fin de conseguir así una sustitución de los componentes pertinentes garantizando una óptima ración.

6.1.2.2. Cantidades de forraje

Una vez conocidos los distintos aportes nutricionales necesarios para el correcto desarrollo del animal, se estudiará las necesidades cantidades de productos específicos conociendo así, las cantidades necesarias para elaborar las recetas que después en la automatización del proceso de establecerá por programa.

En general el consumo medio de materia seca equivale a 3kg por cada 100kg de peso vivo, o de manera conjunta al 3% del peso corporal del animal. Este valor aumenta para el caso de los animales en alta producción llegando a los 4kg por cada 100kg o a su vez al 4% del peso corporal del animal. Este dato condicionara entre otros de la

Marco Teórico

correcta selección de los tanques de almacenamiento de los diversos tanques o silos de suministros necesarios para abastecer a todos los animales de manera correcta sin generar déficit en ellos. A su vez también dentro del propio forraje existen variaciones de racionamiento dado el estado de madurez que este posea afectando a la digestión del animal:

- Forraje tierno: 2.5kg de M.S./100Kg
- Forraje bueno: 2kg de M.S./100Kg
- Forraje maduro: 1.5kg de M.S./100Kg
- Residuos de cosecha: 1kg de M.S./100Kg

Otros factores a tener en cuenta a la hora de elaborar la receta parten de la frecuencia en la que se aporte la ración debido a que un mayor fraccionamiento de la comida aumentara el consumo diario de la materia seca.

También se debe tener en cuenta la estación del año en la que se encuentre y la zona dado que en estaciones muy marcadas la concentración se vera afectada como son la primavera o el verano.

Una vez conocidos los diversos factores a tener en cuenta para la elaboración de la ración necesaria se establecerán los componentes y los porcentajes de estos necesarios para su elaboración

Existen diferentes fórmulas aplicables al problema definidas por diversas variables, una de ella seria la siguiente:

$$C.M.S.(kg) = 0.0185(Kg \text{ peso vivo}) + 0.305(Kg. \text{ de leche corregida al } 4\% \text{ de materia grasa})$$

En el caso de requerir una corrección en el porcentaje de grasa presente se utilizará de manera complementaria la siguiente formula

$$Leche \text{ corregida al } 4\%(kg) = 0.4 \times kg \text{ leche} + 15 \times kg \text{ de grasa}$$

Estas dos fórmulas de manera conjunta optimizan de manera individualizada la ración necesaria para cada uno de los animales. Otra fórmula presente y útil para poder llevar a cabo el cálculo es la siguiente:

$$C.M.S(kg) = 2\% \text{ del peso corporal} + 0.33(kg. \text{ de leche ajustada al } 4\% \text{ de grasa})$$

A su vez si se prefiere existen tablas estandarizadas las cuales permiten directamente seleccionar los porcentajes necesarios para cada animal

Tabla 4. Consumo de materia seca para vacas lecheras

Tabla 1: Consumo de materia seca para vacas lecheras de acuerdo a su peso corporal y al rendimiento de leche (NRC-2001).					
Peso vivo (kg)	400	500	600	700	800
Leche por día corregida al 4% (kg)	% respecto al peso vivo				
10	2.7	2.4	2.2	2.0	1.9
15	3.2	2.8	2.6	2.3	2.2
20	3.6	3.2	2.9	2.6	2.4
25	4.0	2.5	3.2	2.9	2.7
30	4.4	3.9	3.5	3.2	2.9
35	5.0	4.2	3.7	3.4	3.1
40	5.5	4.6	4.0	3.6	3.3
45	-	5.0	4.3	3.8	3.5
50	-	5.4	4.7	4.1	3.7
55	-	-	5.0	4.4	4.0
60	-	-	5.4	4.8	4.3

Una vez conocidos los datos necesarios para la elaboración de la ración, consideraremos para ella los ingredientes citados en la "Tabla 2. Requerimientos según producción" estableciendo el proyecto en base a las necesidades citadas anteriormente, y a su vez elaborando las recetas pertinentes para cada caso.

6.2. EQUIPOS METÁLICOS

En este apartado se incluirán todos aquellos equipos rígidos necesarios para la elaboración del proyecto como tanques, silos, cintas transportadoras, bandejas, comederos, tolvas, bebederos, ventiladores, etc.

6.2.1. *Silos metálicos*

Estos equipos son utilizados para el almacenamiento de los distintos componentes de la ración a suministrar, que posteriormente abastecerán al resto del sistema. Es por ello que se requerirá de uno o varios para cada ingrediente de la ración.

Existen diversos tipos de silos metálicos, dependiendo del producto que estos contengan. Pueden ser silos de torre, silos de bunker, de bolsa...

Dado que los silos serán el primer elemento en intervenir en el proceso, se realizará un primer análisis de estos.

6.2.1.1. *Silos de torre*

Los silos de torre son estructuras cilíndricas de entre 4 y 8 metros de diámetro, y alturas de entre los 10 a los 25 metros de altura generalmente. Este tipo de silos son utilizados en aplicaciones que precisen de descarga por su parte superior. Debido a su llenado por la parte superior, el alimento suele empacarse de manera autónoma debido a la caída de la gravedad, excepcionando aquel que se encuentre en la parte más alta.

Gracias a dicha caída de la gravedad, es posible realizar descargas precisas aprovechando su boca inferior mediante un actuador, por lo que su utilización para medir raciones por caída facilita su elección.

Dado que no todos los componentes de la ración poseerán un porcentaje tan alto de contenido como otros, se requerirá de diversos tamaños, es por ello que estos silos, solo serían útiles para los componentes de la ración que ocupasen mayor volumen, como pudieran ser los derivados del trigo o el maíz.

En el caso de la aportación de las proteínas y demás nutrientes complementarios, se precisaría de la utilización de silos o tanques más reducidos a fin de conseguir una medición del componente más precisa y evitar disponer de grandes cantidades de producto de carácter perecedero.



Ilustración 10. Silo de torre

6.2.1.2. Silos de bunker

Este tipo de estructuras a diferencia de las anteriores dispone de ventajas respecto a los silos de torre, debido a que su capacidad de carga es en ocasiones mucho mayor a los silos de torre, con la diferencia del sistema de suministro del producto. Esto se debe al requerimiento de maquinaria agrícola como tractores, para la recogida y el desplazamiento del producto.

A su vez realizar una automatización sobre este tipo de estructuras requeriría a priori un mayor gasto que la utilización de los silos de torre, aun teniendo este, mayores ventajas de rendimiento y conservación del producto frente al otro tipo.



Ilustración 11. Silo bunker

Marco Teórico

Es por ello por lo que se desechara su utilización dado que una de las premisas principales de este proyecto consiste en la automatización optimizada del proceso de alimentación de las vacas.

6.2.1.3. Tanques de producto

Como se ha citado anteriormente, se requerirá de tanques de diversos tamaños, para poder almacenar en ellos todos aquellos productos perecederos que se encuentren en un menor porcentaje dentro de la ración necesaria. Es por ello que se precisara de tanques horizontales de menor capacidad o tanques de almacenamiento, útiles para aplicaciones de este tipo.

Dentro del sector de los tanques existen diversos tipos de ellos dependiendo del producto que estos vayan a contener. Realizando un análisis se han encontrado tanques verticales, capaces de almacenar de manera eficiente los forrajes y los granos utilizados en este proyecto, y que sin necesidad de la utilización de silos son capaces de satisfacer la demanda de producto sin atascos ni mantenimientos manuales.

Los tanques a diferencia de los silos precisan de una fuerza de empuje que les haga ser vaciados debido a que no se encuentran normalmente en altura y no cuentan con la ayuda de la gravedad, esto supone un problema a la hora de requerir productos como el heno o el trigo, los cuales son más difíciles de empujar que el grano de maíz o el grano de trigo por un tanque.



Ilustración 12. Tanque metálico

Para concluir este subapartado se seleccionarán silos de torre para la contención de los productos como el heno, trigo y maíz y de manera complementaria se utilizarán tanques verticales para la adición de los demás nutrientes.

Existen diversas marcas las cuales suministran de manera certificada todo este tipo de equipos como pueden ser: "Herpasa, Brischer, GEA, Afimilk.."

Los siguientes equipos a tener en cuenta una vez suministrado la cantidad necesaria por cada silo o tanque ("Estos actuadores y sensores serán objeto de estudio posteriormente") se procederá a su desplazamiento por las diferentes áreas que el proceso posea. Dado que se trata de materiales de carácter sólido, se utilizará para su desplazamiento bandas transportadoras, y en el caso de la distribución del suministro de agua a los bebederos de los animales se optará por tubos metálicos.

6.2.2. Cintas transportadoras

Las transportadoras de bandas son sistemas de movimiento continuo formados por la banda, movida por, normalmente dos motores en los extremos del tramo. La banda, a su vez es acompañada solidariamente por rodillos de transporte los cuales proporcionan la tensión necesaria a esta. Una de las principales ventajas de las cintas transportadoras en la aplicación que se propone, reside en la posibilidad de realizar instalaciones superiores entre áreas o edificios próximos, sin perder ningún tipo de calidad en cuanto a movimiento o señal se refiere.

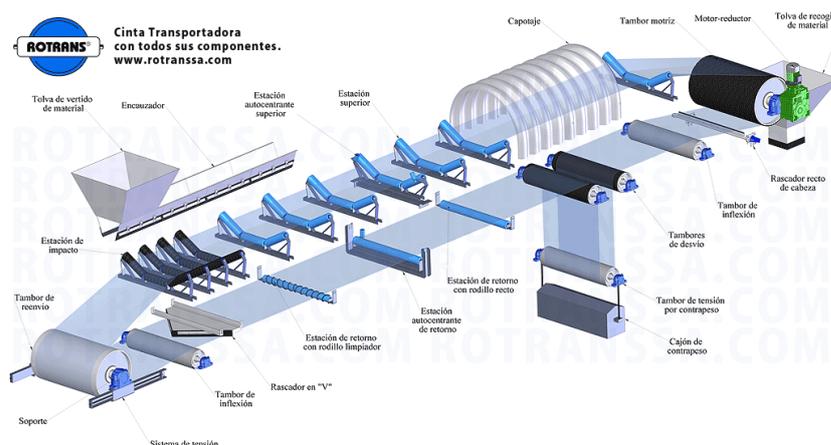


Ilustración 13. Cinta transportadora con accesorios

Marco Teórico

A su vez este tipo de sistemas garantiza una perturbación nula en el producto y la posibilidad de realizar modificaciones sin demasiadas complicaciones. Su mantenimiento es bastante asequible dado a la fácil sustitución de la banda y a la selección de la más óptima para el producto a tratar.

De forma conjunta, a una banda transportadora, se le pueden añadir sin realizar grandes modificaciones, accesorios capaces de manipular el producto a su paso, realizando por ejemplo clasificaciones o selecciones de camino de manera que la automatización se eleve a niveles mucho más complejos que a la limitación de transportar elementos de un punto "A" a un punto "B". En el apartado de actuadores y sensores se estudiarán los componentes capaces de realizar estas acciones y que serán imprescindibles a la hora de desarrollar este proyecto.

Este componente dentro del proyecto carece de importancia mecánica, pero a su vez requiere de un gran conocimiento de los actuadores y sensores pertinentes instalados dentro de él, a fin de poder realizar los correctos movimientos en la línea dependiendo del estado en el que se encuentre el proceso en ese momento.

6.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Una vez estudiados todos los equipos necesarios para definir las grandes áreas constituidas por los voluminosos equipos metálicos, es necesario del estudio de todos los sistemas necesarios para poder interconectarlos y ejecutar así las tareas precisas.

El primer objeto de estudio del sistema de automatización, el cual va a determinar la selección de todos los demás, será el controlador de todo el proceso. Se utilizará para ello un controlador tipo PLC ("Controlador lógico programable") el cual no es más que una computadora de tipo industrial, capaz de controlar de manera eficaz grandes procesos o líneas de montaje.

Los PLC (Controlador lógico programable) nacieron como solución al control de circuitos complejos, y a la optimización en procesos de cableado y utilización de componentes eléctricos como relés y contactores. Un Controlador lógico programable, consta de un microprocesador de aplicaciones específicas a nivel industrial, especializado para secuencias lógicas. Una de las ventajas de un PLC frente a las computadoras convencionales reside en la posibilidad de separar en módulos los diferentes componentes del mismo, consiguiendo así obtener productos más específicos para sistemas o procesos más particulares. Los bloques principales de un PLC son: Unidad de control, fuente de alimentación y tarjetas I/O. También se diferencia en aspectos físicos dado que su construcción ha sido focalizada para soportar las condiciones desfavorables habituales en una planta industrial.

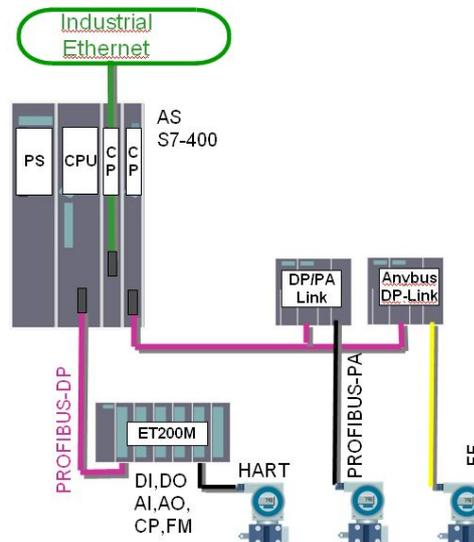


Ilustración 14. Estación de automatización "Siemens"

Marco Teórico

Esto también permite una mayor versatilidad a la hora de realizar las programaciones dado, que mediante las oportunas unidades de control y comunicaciones es posible realizar comunicaciones de distinto tipo entre varios PLC´s creando así una red conjunta para todo el proceso. También sus lenguajes de programación y sus interfaces programables, permiten la formación necesaria para el manejo del sistema sin conocimientos altos sobre estos.

Dado que cuenta con un microprocesador integrado, este dispositivo es capaz de realizar un gran número de operaciones en tiempos muy reducidos, y trabajar a su vez con bases de datos considerablemente grandes que optimicen así el proceso productivo. Si a su vez se piensa en esto como una serie de unidades de control interconectadas entre sí, la capacidad de procesamiento total de la red aumenta exponencialmente, generando así situaciones en las que todas las unidades trabajen conjuntamente y al mismo rendimiento sin la necesidad de poseer una unidad de procesamiento central.

6.3.1. Arquitectura interna del PLC

Una vez realizada esta introducción al tema, se procederá a realizar un estudio de los diferentes módulos principales con los que cuenta un PLC

6.3.1.1. Unidad central de proceso

La unidad central de proceso o "CPU", es la encargada de procesar todas las ejecuciones necesarias para generar y tratar todas las señales del sistema, a esto se le denomina programa. Los programas que es capaz de ejecutar un PLC se diferencian por realizar ejecuciones pares, donde se conmutan programas internos para el funcionamiento de los distintos módulos del PLC, con los programas usuarios generados para la interacción y el desarrollo del proceso.

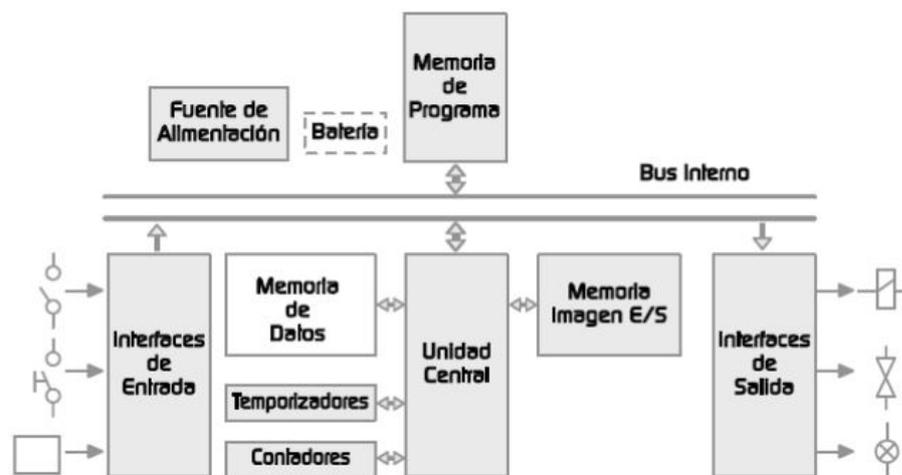


Ilustración 15. Diagrama CPU

Previo a explicar la CPU, se necesita crear un **Programa** el cual puede estar escrito en diversos lenguajes como puede ser el lenguaje binario o el código máquina, encargado de poner en marcha todas las etapas de la CPU

Para realizar toda esta serie de operaciones y procesamientos creados en el programa, la CPU cuenta con una **Unidad Aritmético Lógica "ALU"**, la cual básicamente realiza operaciones aritméticas básicas: suma, resta, multiplicación, comparación y operaciones lógicas: AND, OR, NOT... y una vez realizadas es capaz de desplazarlas para su posterior tratamiento.

Marco Teórico

La **unidad de control** es la encargada de sincronizar todas las ordenes procesadas por la ALU y seleccionar los caminos por los que la información viajara. Para ello establecerá pulsos precisos en tiempos de ejecución marcados con el fin de realizar las instrucciones de forma precisa. Dado que la información que recibe la unidad de control, no se encuentra codificada en un lenguaje accesible para el tratamiento. Se precisa de un decodificador a la entrada de la unidad para depurar en la medida de lo posible la información recibida.

El destino de los procesamientos gestionados por la ALU reside en los **bancos de registro** los cuales constan de un porcentaje pequeño de la memoria interna de toda la CPU con el objetivo de realizar almacenamientos temporales de las ejecuciones de los programas. Para poder llegar a dichos bancos de registros o a las salidas pertinentes se precisa de **Buses**. Los buses, generalizando el termino se definen como vías por donde circula la información entre las diversas etapas de la CPU, diferenciándose por los paquetes de información que estos transporten: Datos, direcciones, señales de control...

Previamente se ha citado la "memoria interna de la CPU", la **memoria** es el almacén donde se guarda toda la información del sistema. Su estructura consta de bloques numéricos preparados para recibir código binario y subdivida por posicionamientos de memoria denominadas "Direcciones de memoria", las cuales poseen una determinada cantidad de bits. Dentro de los tipos de memoria existen dos grandes bloques según su forma de direccionamiento **RAM y ROM**. A su vez dentro de este tipo de memorias existen diferentes clases, pero, con el concepto de los dos grandes bloques es suficiente para realizar los procesos de direccionamientos necesarios dentro de la programación del PLC.

La memoria RAM "Random Access Memory" dado que llevan implícito en su nombre la palabra "Aleatorio" consisten en memorias donde el orden de direccionamiento no está establecido, y son utilizadas normalmente para el almacenamiento de datos variables temporales que carecen de necesidades imprescindibles para el funcionamiento de la CPU. Dentro de las memorias RAM es común encontrarse las de tipo volátil, las cuales una vez se interrumpe la corriente eléctrica borran completamente la información que almacenan.

La memoria ROM "Read Only Memory" por otro lado son direccionadas previamente y son únicamente leídas por la CPU por lo que su información nunca se ve perturbada. Este tipo de memorias son necesarias a la hora de ejecutar los programas básicos de los microcontroladores, como por ejemplo los programas de la ALU.

Conjuntamente a la ALU, normalmente una CPU cuenta con dos unidades de conversión denominadas ADC y DAC, "Analog to Digital Converter" y "Digital to Analog Converter" respectivamente. Las cuales filtran las señales de entrada que reciben.

La última parte de la unidad central de proceso, son los **puertos**. Estos son los encargados de realizar las comunicaciones con los dispositivos externos a la CPU, y los cuales reciben toda la información. Para poder llevar a cabo este sincronismo, los puertos cuentan con entradas/salidas digitales, las cuales trabajan a distintas tensiones internas, lo cual permite el conexionado de un amplio número de diferentes periféricos.

Existen además puertos con un mayor grado de complejidad que la de un contactor que es capaz de abrirse o cerrarse dependiendo de la tensión interna que reciba, a este tipo de puertos se les denomina **módulos**. Los módulos son dispositivos especializados para la ejecución de tareas que complementen la actuación de la CPU. Los módulos más comunes son: Contadores, temporizadores...

6.3.2. Módulos E/S

Una vez conocido los principales componentes de la CPU, el cerebro de un controlador lógico programable, se estudiarán los componentes encargados de realizar las gestiones, entre las interacciones de los buses de campos situados en el interior del proceso y la CPU. Estos componentes son los módulos de entradas/salidas, encargados de realizar la adquisición de datos de los buses, o de su control. Los módulos de entrada tienen como objetivo la transformación de las señales de entrada a lecturas comprensibles por la CPU, dependiendo del tipo de señal que posean se clasifican en dos tipos principales: Analógicas digitales.

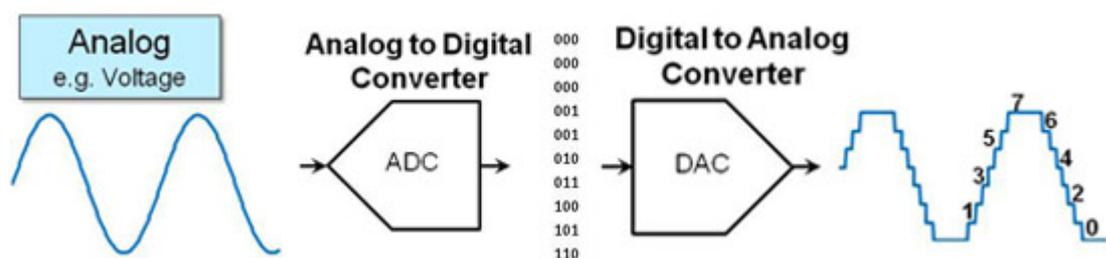


Ilustración 16. Tipos de señales de entrada

Marco Teórico

Las entradas analógicas trabajan con señales en forma de tensión o de corriente aportadas por los diferentes sensores de temperatura, posición, galgas, o cual quiera magnitud física capaz de medirse mediante diversas formas. Una vez recibida esta señal, este número por el módulo E/S, se filtra por el convertor analógico digital "ADC" el cual entrega la señal acondicionada para su tratamiento a la CPU. Las entradas digitales por otra parte no transfieren valores numéricos a los módulos de entradas, sino que trabajan por pulsos. Estos pulsos también son llamados estados lógicos o llamadas binarias, los cuales constan de dos estados: "ON y OFF" o "0 y 1"

posteriormente se detallarán las funciones de los diversos dispositivos de entradas existentes, como pueden ser sensores inductivos, ópticos, termopares, encoders, etc. Los dispositivos de salida por otra parte son los encargados de enviar respuestas a los actuadores que mandan señales a este, con el fin de ser gobernados según la información aportada

6.3.3. Variadores de frecuencia

Otro de los componentes primordiales a la hora de realizar un sistema de automatización, son los variadores de frecuencia. La utilización de motores de corriente alterna genera la necesidad de implementar un control sobre su velocidad, es por ello que entran en juego los variadores de frecuencia. Los variadores de frecuencia son equipos capaces de modificar la velocidad mediante la variación de la frecuencia, garantizando el funcionamiento óptimo del sistema, estos componentes a su vez eliminan la necesidad del uso de arrancadores y crean un ahorro energético dando a su vez resultados óptimos de funcionamiento.

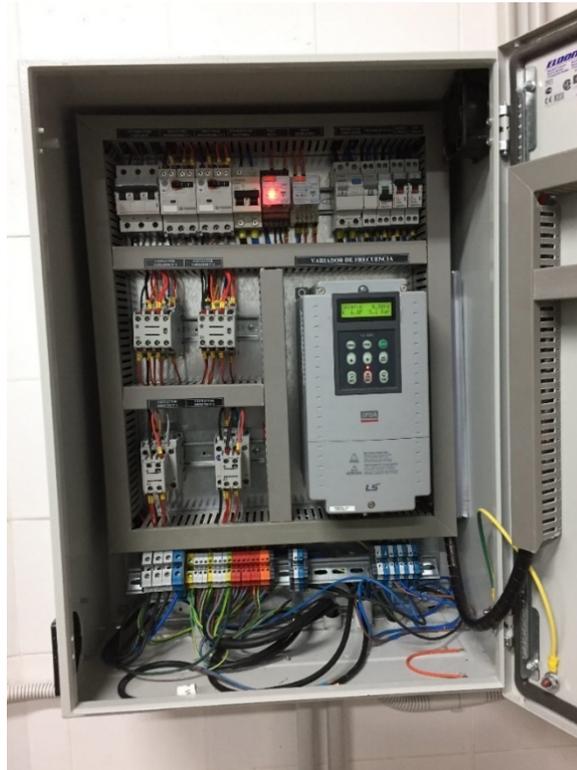


Ilustración 17 VFD Instalado en armario eléctrico

Los conceptos necesarios para conocer las características de un variador son las siguientes:

Velocidad(n): La velocidad en el eje del motor asíncrono en rpm, esta dada por el número de polos magnéticos que posea el motor, así como la frecuencia que tenga la red de suministro:

$$n = 60 \frac{f}{2p} \text{ Siendo } 2p = \text{Numero de pares de polos del motor}$$

La velocidad real del motor, es menor a la expresada por el fabricante, es por ello que se crea una diferencia entre ambas denominada deslizamiento (s). A esta diferencia también se le llaman diferencia entre (n) síncrona y (n) asíncrona

También existe la posibilidad de que se fabriquen motores específicos diseñados para un único uso y ajustado a las necesidades del proceso. El variador de frecuencia elimina esta necesidad, particularizando las propiedades de motores universales mediante su control directo.

El funcionamiento principal de control reside en el uso de frecuencias de salida superiores a las nominales, creando así un giro a mayor velocidad que la nominal. Esto genera una reducción de la velocidad nominal, consiguiendo así por ejemplo que, a

Marco Teórico

frecuencias del doble de la salida, la velocidad nominal sea la mitad de la original. Al realizar estas operaciones es importante tener en cuenta las características de temperatura de trabajo del motor y de su par dado que, si no se realizan variaciones del par suaves, se pueden generar corrientes elevadas que dañen el circuito. También es necesario tener en cuenta la temperatura de trabajo del motor a la hora de trabajar, aunque tanto los motores como los variadores cuentan con métodos suplementarios de refrigeración, se puede llegar a situaciones donde la resistencia por rozamiento del aire se vea aumentada y se creen sobreesfuerzos en el motor, siendo necesarias fuentes externas de refrigeración.

Las señales de salida generadas por un variador se caracterizan por tener forma de onda. Ya que produce tres fases de salida mediante tramos troceados del tipo PWM

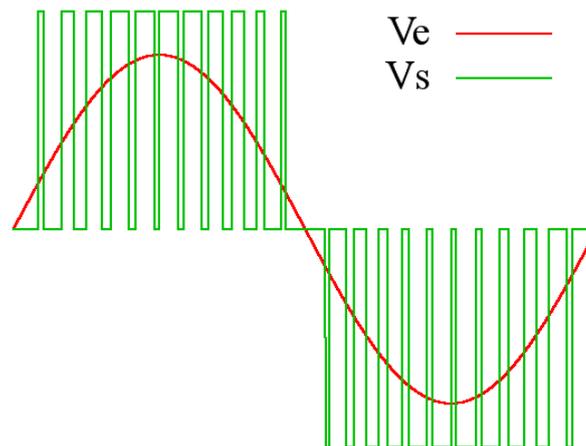


Ilustración 18 Onda sinusoidal (Hz) por variación de ciclo de onda cuadrada

6.3.4. Sensores de campo

Los sensores o elementos de campo, son todos aquellos componentes que informan en todo momento al PLC sobre el estado del proceso productivo, detectando para ello magnitudes tanto físicas como químicas. Dentro de los sensores existen diversos tipos dependiendo de la variable con la que trabajen: Temperatura, presión, caudal, nivel, pH, peso, corriente, tensión, radiación etc.... Dentro de los elementos de campo existen diferencias frente a la medición de estos, dado que parten de la obtención de un valor eléctrico. Es por ello que los sensores más extendidos son los sensores de 4 a 20mA los cuales eliminan la zona de 0 a 4mA con el fin de reducir la zona muerta de medición la cual podría inducir a mediciones erróneas. Aun así, la utilización de sensores con valor mínimo 0mA es usado en rango 0-100mA con cables de 4 hilos.

Es importante remarcar la diferencia existente entre medidor de campo y transmisor de campo, dado que un medidor de campo únicamente es capaz de mostrar la información que recoge como es el caso de un manómetro, mientras que un transmisor es capaz de gestionar las mediciones realizadas y comunicarlas al controlador lógico programable.

6.3.4.1. Transmisores de Temperatura (TT)

Dentro del grupo de los transmisores de temperatura, existe una amplia gama como las termorresistencias, los termopares, etc.... los cuales se diferencian por la metodología empleada para la obtención del dato real.

Las termorresistencias, o RTD utilizan la variación de resistencia debido a variaciones de temperatura, para obtener así el valor real. Su relación fundamental es la siguiente:

$$R_t = R_o \cdot (1 + \alpha t)$$

- R_o : Resistencia en ohmios a 0 °C
- R_t : resistencia a la temperatura t °C
- α : Coeficiente de temperatura de la resistencia. Siendo los materiales mas comunes, el platino, níquel, cobre y tungsteno.

Este tipo de mediciones no consiste en un método directo ya que la resistencia a estudio, se encuentra situada en un puente de Wheatstone, el cual ya se encuentra implementado con sistemas de control avanzado mediante electrónica digital. La principal ventaja de estos sensores radica en su rango de operación y su precisión, llegando en materiales como el platino a rangos de operación [-200, 950 °C] con precisiones de 0.01 °C. Para realizar interconexiones de transmisores de temperatura se utiliza hilo de cobre común a diferencia de otros termo sensores que necesitan de cables especializados como es el caso de las termocuplas. Una de las termorresistencias mas utilizadas a lo largo de la evolución en la electrónica digital es la PT100.

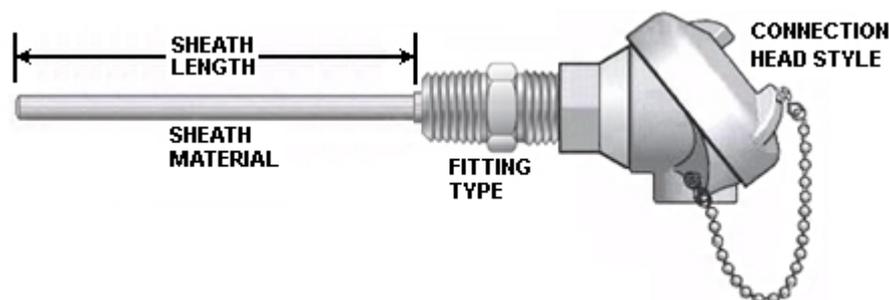


Ilustración 19 Partes transmisor TT

Marco Teórico

Otro tipo de sensores de temperatura extendidos en la industria es el termopar. Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales de distinto tipo que producen un voltaje función de la diferencia de temperatura creado en sus extremos "punto caliente/frio". A diferencia de las termorresistencias, los termopares generalmente son más económicos que estos y un así son capaces de medir amplios rangos de temperatura. Su principal diferencia frente a las termorresistencias radica en la precisión de medida que poseen dado, que por debajo de 1°C son poco fiables. En algunos casos su rango de medida puede llegar desde los 0°C hasta los 1250°C



Ilustración 20 Receptores TT

Estos, mandarían valores de temperatura, que posteriormente serán gestionados por el controlador lógico programable.

6.3.4.2. Transmisores de Presión (PT)

Otros sensores relevantes en los elementos de campo de un proceso automatizado, son los transmisores de presión. Estos sensores tienen como objetivo la obtención de la presión manométrica de un sistema, obteniendo para ello una señal eléctrica, que posteriormente será convertida a una magnitud física. Para este propósito existen diferentes tipos de sensores, los cuales aplican varios métodos de medición.

Los sensores piezoresistivos, se basan en la variación de una resistencia inducida por la deformación generada en función de la presión. Esta presión es ejercida sobre una membrana metálica la cual incorpora conductores eléctricos la cual, conectada a un puente de Wheatstone realiza una medición de la deformación.

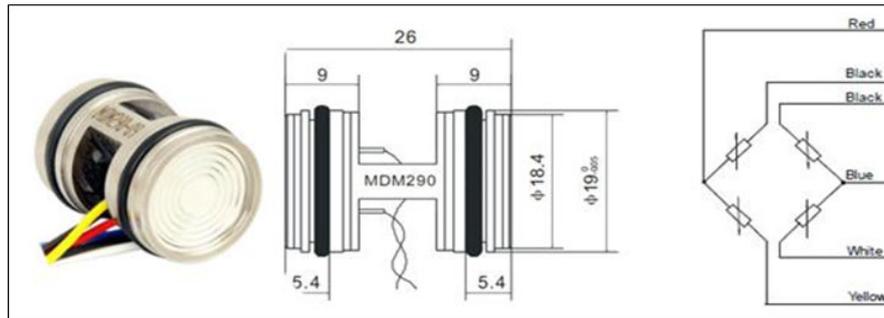


Ilustración 21 Sensor piezoresistivo de presión

Otro tipo de sensor de presión común, es el sensor capacitivo. Este tipo de sensor utiliza condensadores que, debido a su conformación por placas metálicas pegadas, sufren una perturbación debido a la presión ejercida sobre estas, disminuyendo la distancia entre estas y a su vez aumentando su capacidad. Esta variación en la capacidad del condensador, es utilizada para obtener el dato eléctrico de la presión, la cual posteriormente es convertida a la unidad correspondiente.



Ilustración 22 PT Manométrica Industrial

Existe también una variación de los sensores piezoresistivos llamados sensores piezoeléctricos. Este tipo de sensores utiliza cristales no conductivos, de materiales como el cuarzo. La generación de un campo eléctrico en estos cristales, genera un momento dipolar produciendo una intensidad en base a la presión generada. La tensión eléctrica generada sirve como dato de medición de presión.

Marco Teórico

6.3.4.3. Transmisores de Nivel (LT)

Los transmisores de nivel permiten conocer como su propio nombre indica, la cantidad de fluido presente en depósitos como tanques o silos. Dentro de los métodos de transmisión más usados se encuentran los transmisores de nivel y los flotadores magnéticos.

Los transmisores de nivel utilizan para la detección de fluido, flotadores con transmisión magnética. Este sistema magnético actúa sobre una cadena de resistencias situadas en la parte superior del eje del flotador la cual varía a medida que el nivel hace subir o bajar al flotador,

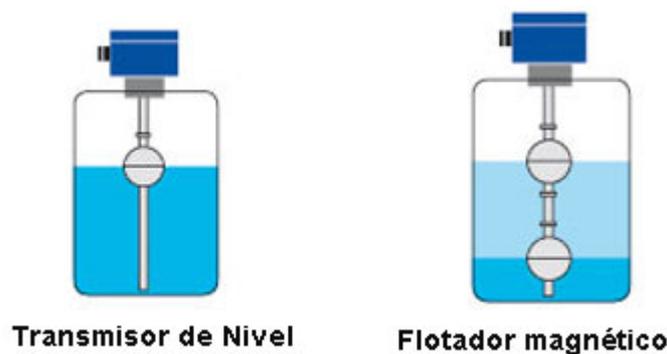


Ilustración 23 Transmisores de Nivel

Por otro lado, los transmisores de flotador magnético incorporan varias redes de resistencias dispuestas a lo largo del eje del flotador siendo capaz, de mediante distintos flotadores instalados, realizar distintas medidas de nivel



Ilustración 24 LT Marca Rosemount

6.3.4.4. Otros transmisores

Aparte de las cuatro magnitudes citadas anteriormente existen otro tipo de sensores aplicados a industrias específicas. Dentro de la industrial del Farming o Dairy entran en juego una serie de sensores necesarios para controlar en todo momento las cantidades de gas presentes en una planta, generado por los purines y los desechos de las cabezas de ganado, o sensores para el reconocimiento de la grasa y el pH de la leche ordeñada a lo largo de la jornada. Este tipo de sensores utiliza principios complejos y específicos de cada fabricante con el fin de proporcionar productos en exclusividad a los compradores.

En el caso de los sensores de pH existen modelos que ofrecen salidas analógicas 4 a 20mA de dos hilos utilizando señales de alta impedancia mediante electrodos especializados para medición de pH ofreciendo rangos de medición de 0 a 14 pH, en el caso del vendedor comercial "Hanna instruments" y su producto HI8614LN

Por otro lado, los transmisores de gases como transmisores de Dióxido de carbono o de oxígeno utilizan tecnología de infrarrojos para realizar las mediciones dado que la longitud de onda del CO₂ puede ser detectada por los sensores IR, y dado que este tipo de sensores posee cualidades ventajosas en ambientes de humedad alta, polvo o suciedad, garantiza a su vez mediciones exactas en ambientes hostiles.

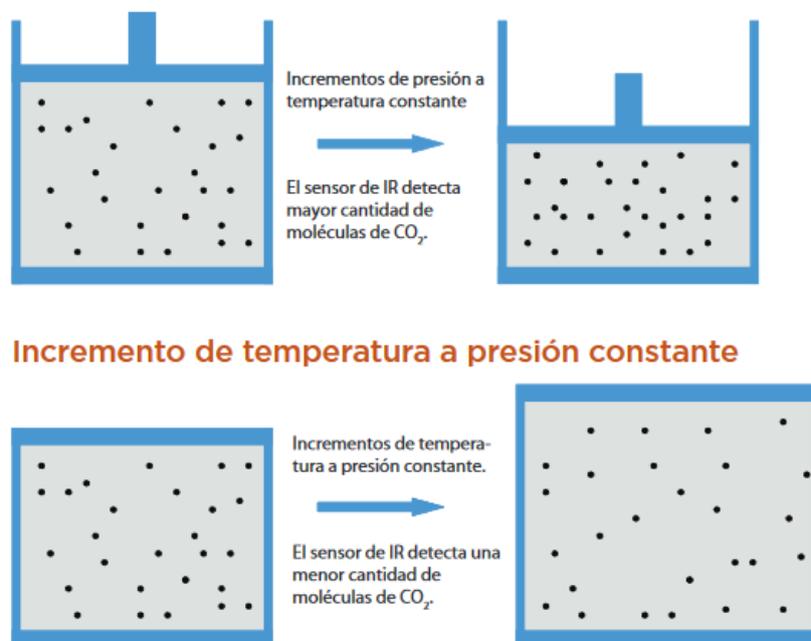


Ilustración 25 Sensor IR para medición CO₂

Marco Teórico

Para poder conocer la concentración del volumen del gas presente en una zona, se aplica la siguiente formula en conjunto a las mediciones obtenidas por el sensor IR

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}C, 1013hPa) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273 + t)}$$

Siendo: t= Temperatura ambiente (25°C)

 p= presión ambiente (1013hPa)

Realizando este cálculo se obtiene como resultado la concentración de volumen del gas presente.

Aunque existen diversos sensores aplicables a campos específicos, quedan expuestos los más relevantes y utilizados en la mayoría de aplicaciones industriales en el campo de la automatización, los cuales serán implementados en el presente proyecto.

6.4. COMUNICACIONES INDUSTRIALES

Las redes o comunicaciones son necesarias para la elaboración de un sistema de automatización. Dotados de protocolos internos dependiendo de los tipos que existen, optimizan la transferencia y la intercomunicación de todos los periféricos esclavos con los autómatas maestros. Garantizando a su vez, comunicaciones seguras entre ellos.

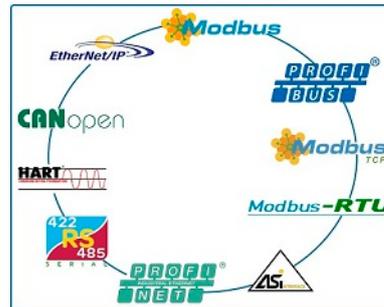


Ilustración 26 Protocolos industriales

Este tipo de dispositivos, aportaran al proceso productivo, un ahorro importante en materiales, debido a su sustitución frente a diferentes componentes electrónicos.

Previamente a la elaboración de un análisis sobre las diversas marcas comerciales que existen, se detallaran las principales características de este tipo de componentes. A la hora de la selección del control que se utilizara para el desarrollo del proyecto, se diferenciara entre dos métodos diferentes de control:

- **Control centralizado**
- **Control distribuido**

6.4.1. Control centralizado

Este tipo de controles, son utilizados en sistemas poco complejos, ya que gestionan de manera directa y mediante un solo elemento todas las tareas del proceso de producción, incluyendo internamente un sistema de monitorización y supervisión. Una vez que se requieran más complejidad dentro del proceso, se debe evitar este tipo de controles, para dividir en un segundo momento en dispositivos más potentes.

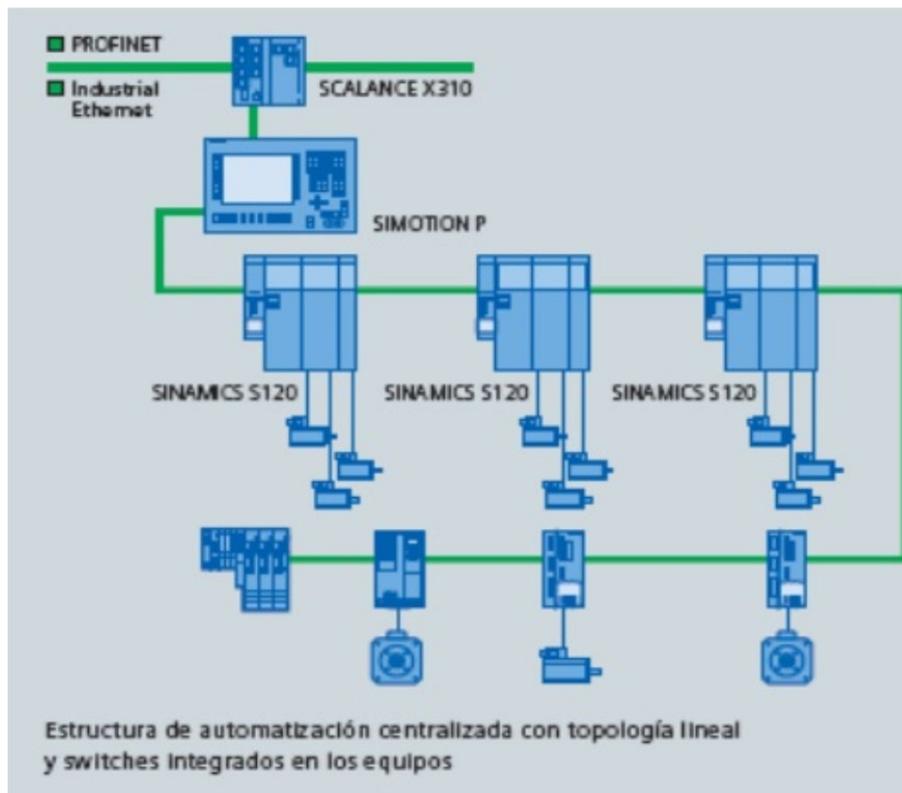


Ilustración 27 Sistema centralizado

Las **ventajas** que aporta este tipo de controles, se basan en una fácil distribución de las comunicaciones internas entre los procesos debido a una única gestión.

Por otra parte, ante un proceso productivo complejo, las **desventajas** crecen considerablemente respecto a una mayor implementación en los dispositivos de control (normalmente autómatas). Otra desventaja considerable es el cableado que deberá llevar este sistema debido al conexionado de todos los actuadores y sensores directamente al dispositivo de control, creando una conexión directa entre campo y control.

6.4.2. Control distribuido

La opción de este tipo de control, se diferencia de un control centralizado, en la consideración de dividir en unidades funcionales nuestros procesos de control automatizados. Una vez se ha realizado una separación en unidades funcionales, se asigna un autómatas a cada una de ellas, siempre manteniendo un dimensionamiento óptimo para el proceso en el que se encuentre. Todos ellos se encontrarán conectados en una red de comunicaciones para realizar el intercambio de datos y de estados entre todos los autómatas de las unidades funcionales.

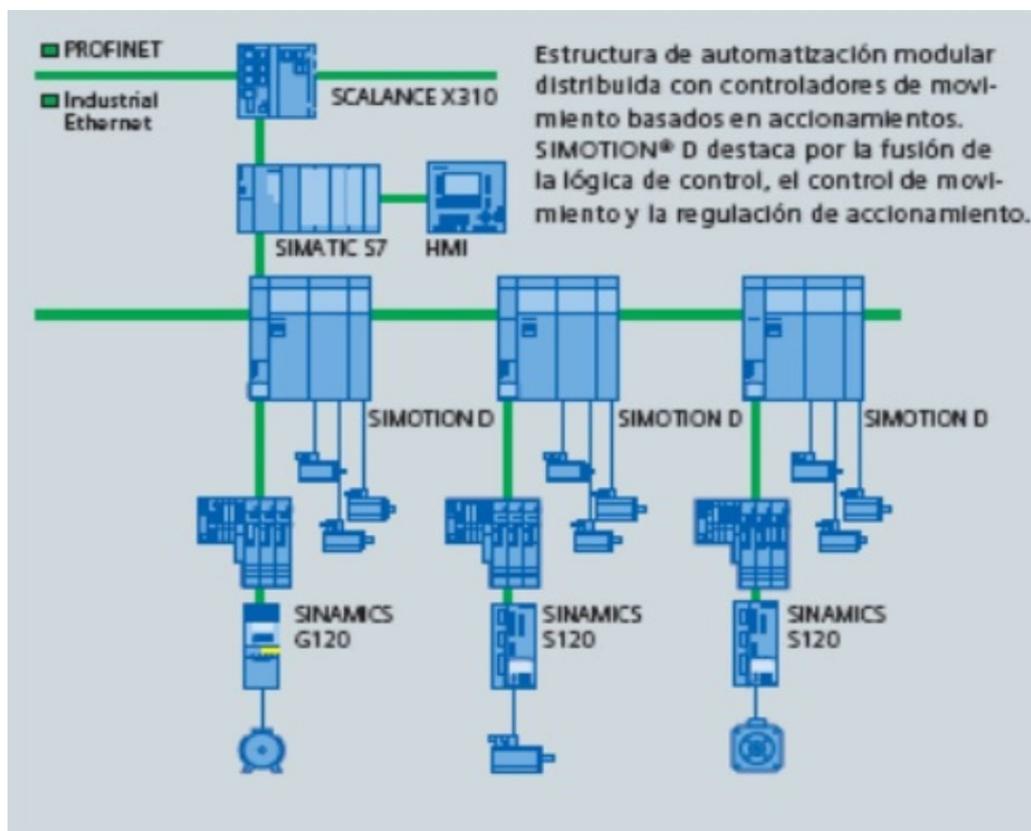


Ilustración 28 Sistema distribuido

Este tipo de controles subdivididos facilita la tarea de mantenimiento y detección de errores, garantizando un fácil acceso y a una focalización de los errores, dado que solo repercutirán en la unidad funcional implicada, siendo esta una de sus mayores ventajas.

Implementar este tipo de proyectos, nos crea una necesidad de realizar un primer estudio para realizar la división en los procesos funcionales.

Marco Teórico

Se seleccionará este tipo de control para el desarrollo del proyecto. ya que optimizara el sistema en lo que mantenimiento y costes se refiere”

Una vez realizado un breve estudio sobre la estructuración del control del proyecto, se deberá proceder al estudio previo de las unidades funcionales o los niveles de comunicaciones que tendrá la fábrica. Para ello se utilizará una herramienta en modelos de automatización llamada **pirámide de CIM**.

La utilización de esta herramienta diferenciara las comunicaciones en los siguientes escalones o niveles:

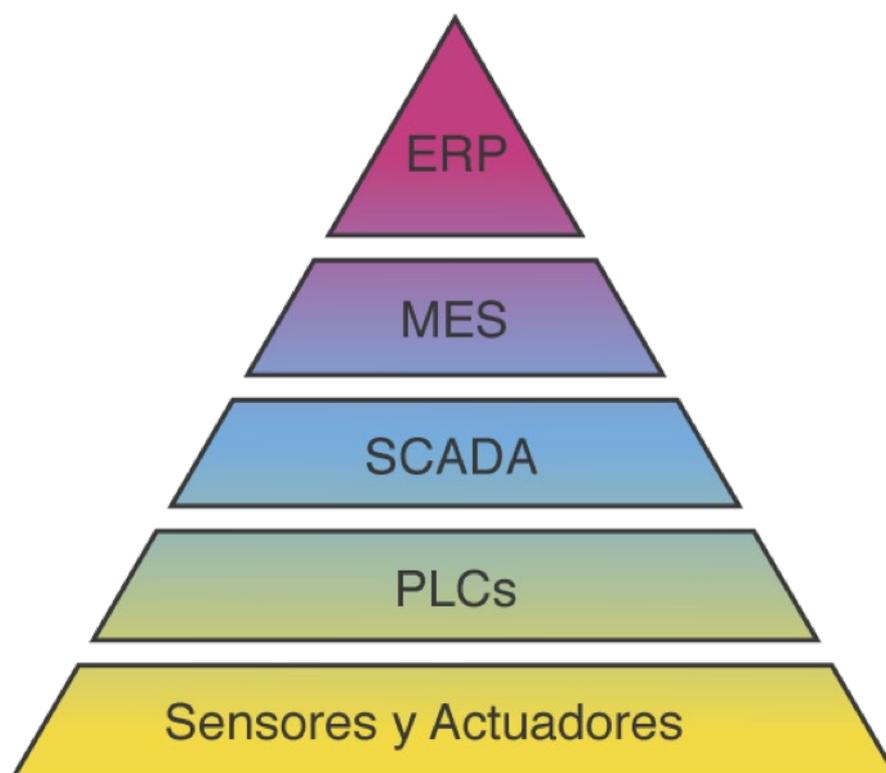


Ilustración 29 Pirámide de CIM

A continuación, se procederá a la explicación de todos los niveles que tendrá el sistema de comunicaciones de nuestro proceso industrial.

6.4.2.1. Nivel E/S (Sensores y actuadores)

En este nivel se encontrarán todos los elementos de medición y actuación como los sensores y actuadores de las maquinas que se encuentren a lo largo de la línea de producción. Dado que estos elementos formaran la última parte del sistema, estos deberán ir gobernados por sistemas de control que se encontraran en siguientes niveles. En apartados anteriores se citaron todos los componentes referidos a este nivel de comunicaciones.

6.4.2.2. Nivel de campo (PLC's)

En este nivel, se encontrarán los autómatas o equipos basados en micros, como son los robots industriales o las maquinas específicas para las tareas que se encuentren controladas por motores o automatizaciones. Dado que se encuentran en este nivel maquinas automatizadas, se pueden llegar a crear industrias únicamente con los dos niveles mencionados hasta ahora. Es importante de forma análoga, que se encuentre interconectado con una unidad de control mayor situada a una distancia considerable mediante buses de comunicación. Este tipo de comunicaciones posee las siguientes ventajas:

- Flexibilidad: La utilización de estos conexiones aporta una simpleza a los diseños que permite localizar rápidamente conexiones erróneas en la instalación y ampliar de igual forma la línea.
- Seguridad: Garantizando la conexión, y diagnosticando las líneas en tiempo real con los sensores y los actuadores.
- Precisión: Transmisión digital con variables analógicas.
- Reducción complejidad: Debido a una reducción de usos de PLC's ya que nos permiten crear largas conexiones entre campo y control, no teniendo que subdividir en controles complementarios. También reducen considerablemente el número de cableados y armarios de conexiones que se utilizaran.

Este tipo de conexiones también posee múltiples inconvenientes como son la posibilidad de rotura del bus, que desencadenaría un descontrol de los actuadores y sensores conectados a él. El sector que trabaja este producto desarrolla buses óptimos para todo tipo de entornos tanto básicos como agresivos que reduzcan la vida del bus exponencialmente. En apartados anteriores se citaron todos los componentes referidos a este nivel de comunicaciones.

Marco Teórico

6.4.2.3. Nivel de control (SCADA)

En este nivel encontraremos todos los dispositivos de control que nuestra planta disponga, esto es necesario para realizar una comunicación adecuada entre todos los PLC's o sistemas del sistema.

Para poder visualizar todos estos procedimientos se puede recurrir a cuadros sinópticos que informan del estado de las estaciones mediante elementos de señalización. Más actualizados a la utilización de estos dispositivos, contamos con los sistemas SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos) estos sistemas, nos proporcionan una interfaz donde ver una situación virtual de nuestro proceso productivo, así como de informar de los errores en tiempo real, sin necesidad de buscar por todos los subsistemas el fallo. En apartados anteriores se citaron todos los componentes referidos a este nivel de comunicaciones.

6.4.2.4. Nivel de gestión (MES & ERP)

Este nivel estará formado básicamente por CPU que se encuentren fuera de los procesos productivos, conformados únicamente para la supervisión de los procesos y la recopilación de información de producción con el fin de gestionarla de la mejor forma posible, para su posterior análisis frente a tareas de mantenimiento o mejora.

Esto nos ayudara a tener un control temporal de la situación de nuestra fabrica y controlar su producción, rendimiento etc...

En apartados anteriores se citaron todos los componentes referidos a este nivel de comunicaciones.

6.4.3. Tipos de comunicaciones industriales

A la hora de trabajar con buses de comunicación industriales, debemos tener en cuenta los protocolos de comunicación industriales pertinentes, dado que, con el avance de la industria, se ha pasado de trabajar con células automatizadas independientes, a trabajar con procesos colaborativos debido a la aparición de las redes.

El mayor inconveniente frente a este problema, es la existencia de diversos tipos de buses de campo debido a la competencia interna en el sector por parte de los diferentes fabricantes. ASI, HART, PROFIBUS, FOUNDATION FIELDBUS...

El estudio y la aplicación en nuestra fabrica se basará en conexiones PROFIBUS, debido a que cuenta con una normativa internacional para buses de campo de alta velocidad para el control de procesos normalizados dentro de Europa EN 50170, así como también la IEC 61158.

Dentro de los buses de conexión existen diversos perfiles de trabajos los cuales serán expuestos a continuación

6.4.3.1. PROFIBUS

El protocolo Profibus es un estándar de comunicaciones para buses de campo. Surge en los años 90 por conjuntos de empresas: Bosch, Siemens, ABB... que tras años de optimización se convierte en estándar europeo **EN50170** en el campo de la automatización. Forma parte de los sistemas industriales distribuidos.



Ilustración 30 Logo comercial PROFIBUS

Dentro del mismo protocolo, existe un ámbito de operación que, dependiendo de los actuadores sobre los que trabaje, aportara una mayor eficiencia diferenciándose básicamente en los tiempos de ciclo en los que el bus puede trabajar, para ello se diferenciaran los siguientes niveles:

Marco Teórico

- Nivel de fabrica: Tiempos de ciclo de bus < 1000ms, en este nivel se encuentran todo los controladores, ordenadores y sistemas de alto nivel guiados por protocolos MMS, TCP/IP
- Nivel de célula: Tiempos de ciclo de bus < 100ms, este nivel corresponde al PLC y a los sensores que requieran de una precisión elevada o tiempos de respuesta altos. Para este nivel los protocolos Profibus utilizados normalmente son el FMS o el PA
- Nivel de campo: Tiempos de ciclo <10ms, correspondiente a todos los motores, sensores de campo, entradas/salidas y transmisores que se encuentren en planta, próximos a los armarios eléctricos o a las islas. Para este nivel los protocolos usados también serán DP, FMS y PA

Una vez conocidos los distintos niveles en los que se distribuye el ámbito de operación del protocolo Profibus es necesario conocer los protocolos que actúan en cada ellos y que se citaron previamente.

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLC's) o terminales. Se caracteriza por ser un protocolo de fácil implementación y por su alta eficiencia y precio, su utilización está orientado a la automatización de plantas industriales.

- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 1 1 15 8-2, seguridad intrínseca). Su utilidad se ve potenciada en automatizaciones de procesos productivos

- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. Su utilización tiene un propósito más general y es más universal, útil para sistemas que precisan de PLC's multimaestro.

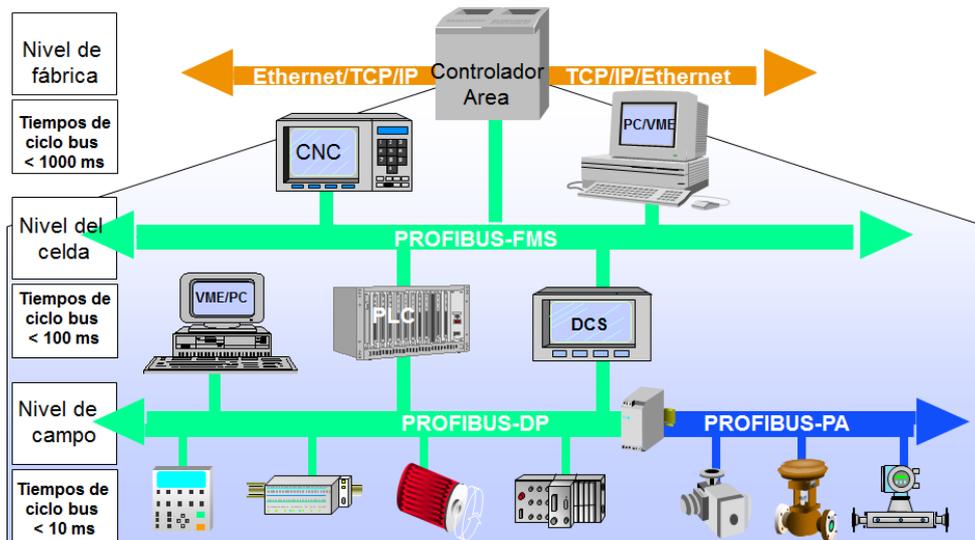


Ilustración 31 Niveles dentro del ámbito de operación

Una de las principales ventajas de la utilización de sistemas multimaestro reside en la implementación de redes en anillo, las cuales permiten un funcionamiento óptimo en situaciones donde uno de los conectores pierda la señal, implementando sistemas de redundancia y evitando el colapso de los sistemas.

Este tipo de comunicaciones suelen trabajar con un maestro y diferentes tipos de esclavos interconectados. El maestro únicamente inicia y verifica los esclavos, así como los configura. El esclavo tiene como función envíos de información de su estado al maestro. El maestro sería el PLC y los E/S serían los esclavos del sistema. Los dispositivos compatibles con este tipo de Profibus son: PLC, PG/PC, dispositivos accionamiento, OP's



Ilustración 32 Red anillo PROFIBUS

Marco Teórico

Una vez conocidos los diferentes niveles que conforman un sistema de comunicaciones industrial, pasaremos al estudio de la normativa y la normalización que influye a este tipo de sistemas. Existen una serie de normas o "recomendaciones" al respecto:

- Nivel físico: bus serie controlado por maestro. Comunicación semidúplex en banda base.
- Velocidades: 1 Mbit/s para distancias cortas y de 64-250 Kbit/s para distancias largas.
- Longitudes: 40 m para la máx. velocidad y 350 m para velocidades más bajas.
- Número de periféricos: máx. de 30 nodos con posibles ramificaciones hasta 60 elementos
- Cable: par trenzado apantallado.
- Conectores: bornes industriales DB9/DB25.
- Conexión-desconexión en caliente (on-line)
- Topología: bus físico con posibles derivaciones a nodos
- Longitud máx. de las ramificaciones: 10 m.
- Aislamientos: 500VCA entre elementos de bus y campo.
- Seguridad intrínseca: opción de conectar elementos de campo con tensiones reducidas para atmósferas explosivas
- Alimentación: opción de alimentación a través del bus.
- Longitud mínima del mensaje: 16 bits.
- Transmisión de mensajes: posibilidad de diálogo entre cualquier par de nodos sin repetidor.
- Maestro flotante: posibilidad de maestro flotante entre nodos.
- Implementación del protocolo: los chips para el protocolo deben estar disponibles comercialmente y no protegidos por patente.

6.4.3.2. PROFINET

El protocolo de comunicaciones PROFINET se diferencia de su hermano PROFIBUS en ser un protocolo abierto dentro de este tipo de redes. Su estructura se basa en el ethernet industrial, ya que usa protocolos TCP/IP y estándares IT lo que permite una monitorización vía Ethernet en tiempo real. La implementación de servicios IT estándares significa una integración homogénea e universal en todas las herramientas de comunicación dado que diversas marcas cuentan con este tipo de protocolos lo que permite una mayor sinergia entre marcas. Para ello utiliza estándares HTTP SNMP u OPC

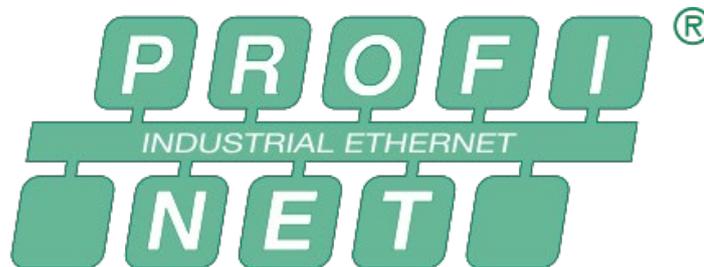


Ilustración 33 PROFINET

Otra principal diferencia frente al PROFIBUS, radica en el tipo de conector que emplea. Este conector es un conector similar al RJ-45 pero con normativas específicas para poder trabajar dentro de planta y enfrentarse a las condiciones que se pueden desarrollar en este. Sus principales ventajas son:

- Flexibilidad debido al uso de estándares IT
- Ahorro debido a la modularización de los sistemas maestros
- Protecciones de inversión para una complementación en sistemas con PROFIBUS
- Mayor tiempo de respuesta en su utilización con aplicaciones de campo.

Este tiempo de respuesta o rendimiento se ve mejorado gracias a los tipos de transmisión que puede realizar, transmisión cíclica, transmisión de datos cíclica y transmisión de datos isócrona.

La transmisión cíclica se caracteriza por no tener prioridad de tiempo utilizando para ello protocolos NRT y TCP/IP. La transmisión de datos cíclica, es similar a la anterior con la diferencia que si incide en la prioridad que posee el tiempo con protocolos RT. Por último, la transmisión de datos isócrona garantiza una respuesta en tiempo real gracias a la utilización de protocolos IRT

Marco Teórico

Dicho tiempo de respuesta en tiempo real común en las transmisiones de datos isócronas posee una serie de ventajas bastante beneficiosas a la hora de desarrollar el proceso productivo. En primer lugar, su utilización reduce la longitud a recorrer por los pulsos dado que el overhead de protocolo no se aplica, esto a su vez garantiza una transmisión de datos con mayor rapidez y elimina ciclos al procesador del PLC lo que aumenta el rendimiento. Otra ventaja que posee radica en la posibilidad de utilizar cualquier topología de red y la posibilidad de aplicar sistemas de redundancia, así como la de dar un acceso ilimitado para cualquier dispositivo

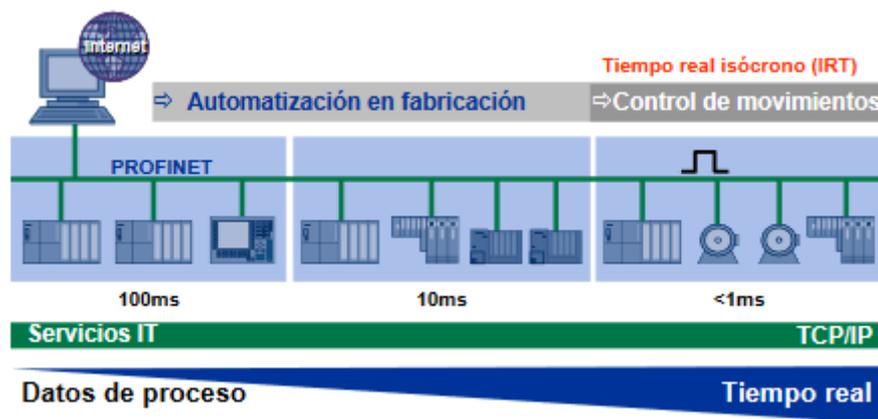


Ilustración 34 Tipos de transmisión de datos

Dentro de los protocolos PROFINET existen distintos tipos asociados a aplicaciones y usos concretos, algunos de ellos citados previamente:

- PROFINET/CBA: Aplicaciones de automatización distribuida en entornos industriales
- PROFINET/DCP: Protocolo básico basado en la capa de enlace, utilizada para la configuración de tags y listados de señales. Usada únicamente en entornos que no poseen servidores DCHP
- PROFINET/IO: Utilizado para aplicaciones con conexión en tiempo real
- PROFINET/MRP: Protocolo utilizado para la redundancia de sistemas
- PROFINET/MRRT: Utilizado de manera complementaria a protocolos RT con la finalidad de evitar la redundancia
- PROFINET/RT: Utilizado para la transferencia de datos en tiempo real
- PROFINET/IRT: Utilizado para la transferencia de datos isócronos en tiempo real

6.4.3.3. AS-interface

A la hora de realizar proyectos, y dado la universalidad que poseen algunas redes, se emplean multitud de redes industriales combinadas entre ellas. En los últimos años se ha tendido por implementación de redes AS-i. Este tipo de redes se emplea como bus de campo, para la interconexión de sensores y actuadores, para niveles de campo inferiores situados en la base de la pirámide de las comunicaciones.



Ilustración 35 AS-i Logo

Las principales características que posee este tipo de bus frente a otros para aplicaciones de campo, residen en una mayor optimización del cableado dado que este bus transmite a la vez alimentación y control. El cable es económico frente a otros dado que no consta de conectores en sus extremos sino, que los actuadores se conectan con conectores apodados como vampiros, los cuales van pinchados a lo largo de toda la línea. Para evitar deterioros del bus cuenta con cualidades auto cicatrizantes y esta codificado mecánicamente para evitar polarizaciones incorrectas.

Cada cable AS-i posee una longitud máxima de 100 metros, en los que pueden ser conectados 124 sensores + 124 actuadores con direccionamiento estándar y el doble con direccionamiento extendido. Los direccionamientos constan de dos bancos de direcciones llamados A y B para poder saber cómo realizar las direcciones depende de los sensores y los actuadores que se implementen a la red, dado que pueden ocupar un direccionamiento u dos, por ello es necesario revisar las especificaciones de cada producto. A su vez posee normativas IP-65/67 para su utilización en ambientes extremos lo cual aumenta su vida útil.

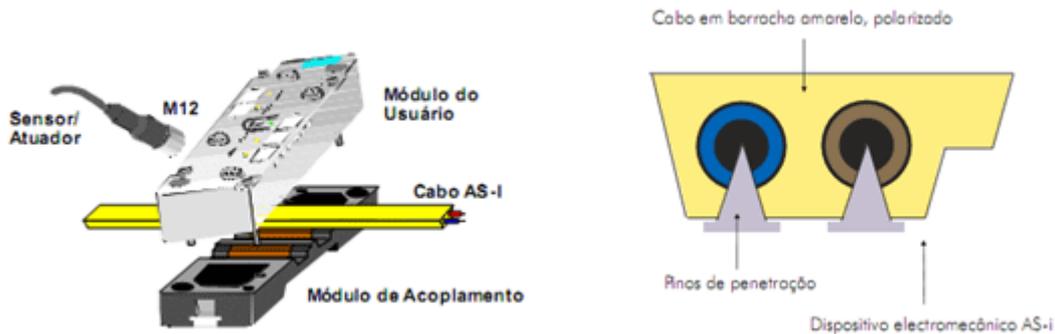


Ilustración 36 método de conexión vampiro AS-i

Tanto la marca propia como otras marcas, han desarrollado módulos específicos que permitan la implementación de este bus de campo en sus productos con la hora de garantizar una mayor homogeneidad en las redes industriales, pudiendo así interconectar tanto PLC's como actuadores de distintas marcas.

También la utilización de buses AS-i aporta una mayor estética visual dado que un único cable rodea todo el proceso productivo lo que facilita a su vez la detección de errores y su mantenimiento

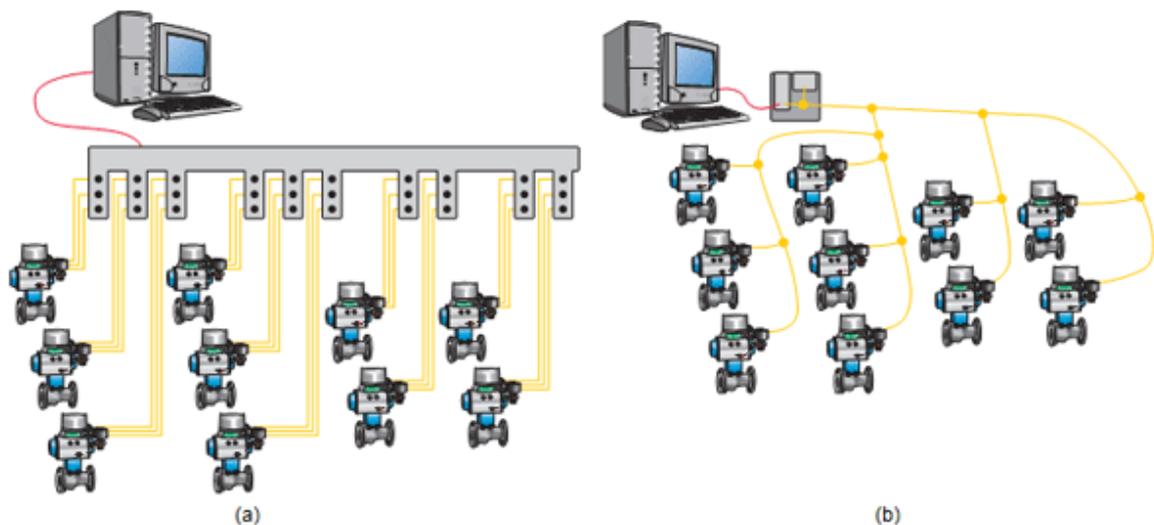


Ilustración 37 Red convencional (a) / Red AS-i (b)

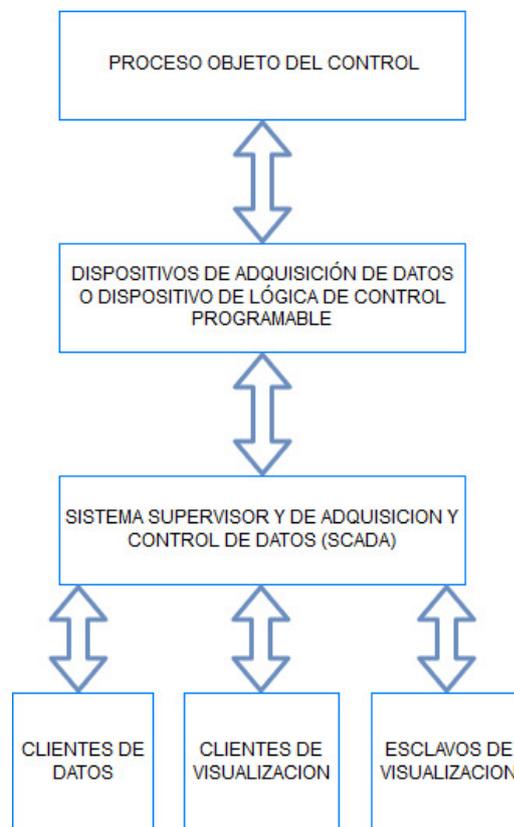
Una vez expuestas las principales redes de comunicaciones, existen otras que no por dedicarles un apartado propio carecen de importancia y es conveniente saber de su existencia por algunas de sus ventajas frente a otras como puede ser la fibra óptica, útil para conexión entre plantas cercanas, dada su capacidad de transmisión de información en grandes longitudes de terreno.

6.4.4. SCADA

El último componente a tener en cuenta previamente a la exposición de los diversos elementos comerciales existentes en el mercado, es el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) utilizado en la industria para la monitorización y la supervisión de los procesos industriales a distancia con la ayuda de aplicaciones y softwares informáticos. Sus fines residen en la gestión la supervisión, control tanto de la calidad como la de producción, trazabilidad y su correspondiente intervención en tiempo real.

El conexionado de un sistema SCADA en un proceso de automatización consta de los siguientes bloques:

Tabla 5 Bloques SCADA



Marco Teórico

Proceso de objeto del control: Bloque de proceso sometido a supervisión, siendo el origen de los datos que se requiere coleccionar y distribuir.

Adquisición de datos: Conjunto de instrumentos de medición mediante interconexión.

SCADA: Combinación de hardware y software que permita la recolección y visualización de datos proporcionados por los elementos de campo.

Clientes: Tratamiento de datos obtenidos por el sistema SCADA

Los sistemas SCADA a su vez van implementados mediante HMI (Human Machine Interface) el cual permite al operador realizar interacciones en tiempo real con el sistema conociendo el estado de todos los componentes, tanto su estado de activación como las variables físicas que manejen. Dentro del grupo de HMI se encuentran elementos sencillos como interruptores o Leds indicativos, así como multipantallas capacitivas con procesadores independientes capaz de gestionar fabricas enteras. Las marcas de automatización incorporan dentro de su bolsa de productos, softwares especializados para el desarrollo de este tipo de sistemas para maximizar en la medida de lo posible la eficacia de sus productos.

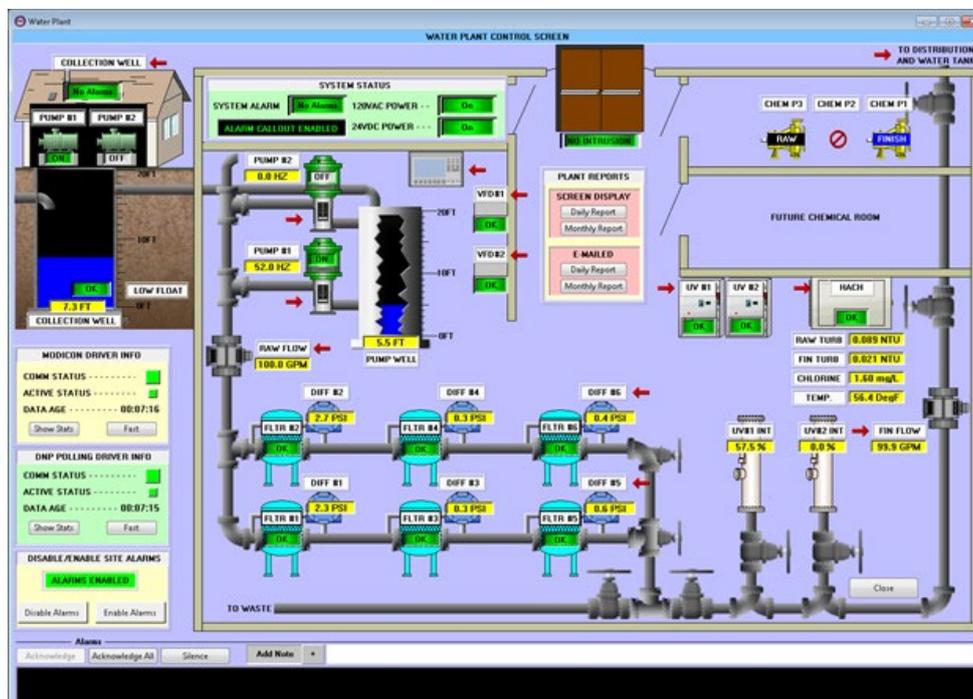


Ilustración 38 Ejemplo SCADA

Los SCADAS a su vez almacenan la información elaborando históricos, útiles para el cliente en gestiones de calidad o trazabilidad de los productos.

Sera necesario de la implementación de un sistema SCADA en el proyecto actual a fin de conocer en todo momento las condiciones en las que se encuentra el sistema. Dentro de los procesos de Dairy o de Farming existen complementos dentro de los sistemas de SCADA que permiten de la creación de recetas seleccionadas por el cliente y que posteriormente se recopilan dentro del SCADA para su selección dependiendo de las condiciones que se precisen en ese momento.

6.4.5. *Lenguajes de programación*

Para poder gobernar la CPU es necesaria de la programación de la misma, por ello existen diversos lenguajes de programación creados por las grandes marcas, los cuales permiten su control.

Ladder Logic Diagram, es un lenguaje de diagramas utilizado generalmente por la marca Siemens, explicada posteriormente, el cual establece una serie de bloques asociados a distintas funciones, para la realización de programaciones verticales de izquierda a derecha

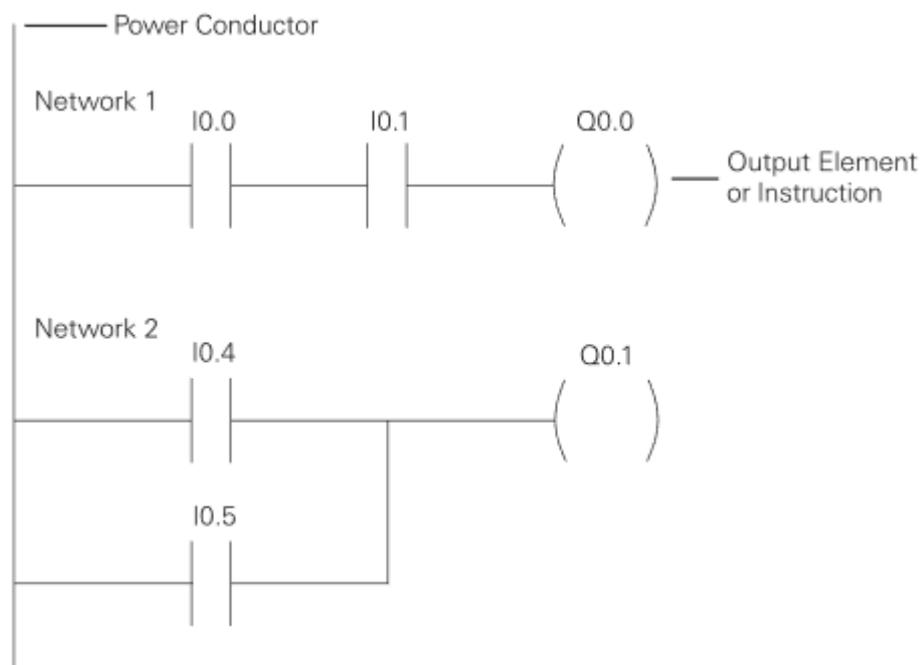


Ilustración 39 Ladder Logic

Marco Teórico

En la anterior ilustración se muestra un ejemplo de una red básica programada en Ladder Logic, la cual cuenta en la primera red "Network 1" de dos condiciones de entrada [I0.0 , I0.1] para poder activar su salida Q0.0, ambas condiciones al estar conectadas en serie equivaldrían a la orden lógica "AND" mientras que la estructura de la segunda red "Network 2" dada su estructura de entradas en paralelo equivaldría a "OR" por lo que cualquier activación de una de las entradas activaría la salida.

Este lenguaje es utilizado a nivel operativo dada su facilidad de comprensión visual y su manejo. Existen también lenguajes escritos como el AWL. Este lenguaje propio también de la marca Siemens posee una estructura escrita, con ejecución vertical

```
NETWORK 1
      LD      I0.0
      A      I0.1
      =      Q0.0

NETWORK 2
      LD      I0.4
      O      I0.5
      =      Q0.1
```

Ilustración 40 AWL

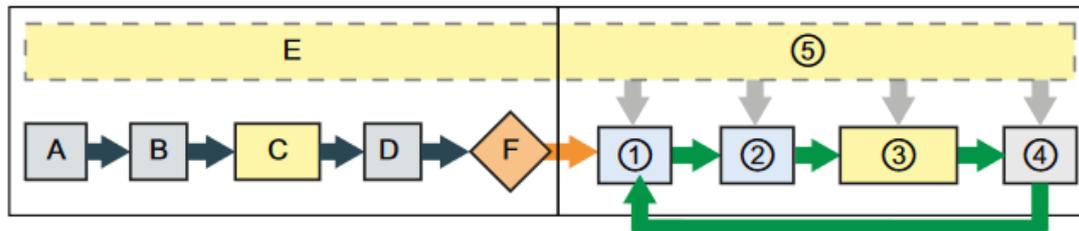
La anterior ilustración ejecuta la misma orden que la escrita en el lenguaje Ladder Logic, pero utilizando para ellos comandos especiales propios del lenguaje. Aunque este lenguaje es bastante utilizado, con la aparición de lenguajes estructurados como el SCL ha quedado en parte en desuso dado que su comprensión es más indirecta que en lenguajes estructurados, basados en tipologías de lenguajes de programación tipo C++ o Visual Basic.

Dentro de ellos se encuentran los lenguajes estructurados como puede ser el SCL, la siguiente ilustración ejecuta el mismo programa que los dos anteriores lenguajes, pero para ello utiliza las siguientes instrucciones

```
1 //Network 1
2 IF I0.0 AND I0.1 THEN
3   Q0.0;
4 END_IF;
5 //Network 2
6 IF I0.4 OR I0.5 THEN
7   Q0.1;
8 END_IF;
```

Ilustración 41 SCL

Cuando se implementa un programa de automatización la forma de ejecutarlo por parte del controlador consiste en la expresada en el siguiente diagrama. En él, se puede observar como el programa ejecuta en un primer ciclo, de manera corrida, los distintos programas o funciones asignados al arranque del mismo, para posteriormente realizar ciclos de ejecución dentro de las funciones establecidas por el usuario de manera ininterrumpida.



ARRANQUE

- A Borra el área de memoria I
- B Inicializa las salidas con el último valor o el valor sustitutivo
- C Ejecuta los OBs de arranque
- D Copia el estado de las entradas físicas en la memoria I
- E Almacena los eventos de alarma en la cola de espera que deben procesarse en estado operativo RUN
- F Habilita la escritura de la memoria Q en las salidas físicas

RUN

- ① Escribe la memoria Q en las salidas físicas
- ② Copia el estado de las entradas físicas en la memoria I
- ③ Ejecuta los OBs de ciclo
- ④ Realiza autodiagnóstico
- ⑤ Procesa alarmas y comunicaciones en cualquier parte del ciclo

Ilustración 42 Ciclo de ejecución Siemens

Marco Teórico

Una vez conocido todos los grandes bloques correspondientes al campo de la automatización se procederá a la descripción de las principales marcas comerciales, exponiendo para ello todos los elementos citados previamente con la relación a la referencia comercial y sus propiedades principales que poseen las distintas marcas.



Ilustración 43 Marcas Automatización

Aunque existen infinidad de marcas comerciales dedicadas al campo de la automatización, en este proyecto se han seleccionado para su exposición las dos grandes casas comerciales a nivel industrial utilizadas en un mayor número de proyectos dado su conocimiento por operadores o trabajadores que se encuentran a día de hoy en distintas plantas. Las marcas seleccionadas para su estudio han sido Rockwell Automation y Siemens.

6.5. ROCKWELL AUTOMATION

Rockwell Automation es una compañía dedicada al sector de la automatización desde 1909 con el surgimiento de la compañía Allen-Bradley. Su nicho de mercado se basa en las aplicaciones de software y los componentes de automatización, así como el desarrollo de sistemas de información.

Su marca principal Allen Bradley posee todo aquello relacionado con la automatización: PLC's HMI, sensores, drivers, contactores... A su vez Rockwell Automation desarrollo sus propias redes de comunicación industrial, basándose en los protocolos existentes manteniendo la estructura de código abierta para su uso libre. Las principales redes industriales son DeviceNet, ControlNet o Ethernet/IP, aunque posee más como Data Highway Plus las cual ha quedado obsoleta con la aparición del ethernet.



Ilustración 44 Logo Rockwell Automation

Una vez conocido en un primer nivel los distintos campos en los que la compañía trabaja, se procederán a la exposición de las distintas soluciones comerciales que posee la marca para satisfacer en la medida de lo posible todos los sectores que requiere una automatización como la que se plantea en este proyecto, analizando si es factible o no su utilización frente a otros competidores.

Las soluciones que presentan Allen-Bradley para implementar sistemas de control con PLC's se nombran como las siguientes familias:

Familia PLC-5

Familia MicroLogix 1000

Familia SLC 500

Dentro de la familia PLC-5 existen diversos procesadores dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar con ellos. Entre ellos se encuentran PLC-5 Enhanced o Ethernet.

Marco Teórico

La familia PLC-5/xx y PLC-5/xxL Enhanced posee en su interior un rango de memoria desde los 8K a los 100K suficiente para el almacenamiento de hasta 3072 E/S. Todos los procesadores de la serie soportan lenguajes de programación Ladder logic, SFC y texto estructurado. Este PLC es compatible con las series de E/S 1771,1746,1791 y 1794 y poseen un puerto DH+ para programación y comunicación par a par. Respecto a la intercomunicación con el operario, posee un puerto serial configurable para su programación directa, y displays ASCII informativos sobre su estado, direccionamiento etc....

Por otro lado, la familia Ethernet poseen en su interior comunicaciones TCP/IP para redes estándar Ethernet con rangos de memoria de 16K a 100K con rango de E/S desde 512 a 3072. Este tipo de procesadores no es más que la suma de un PLC-5 estándar con un puerto configurable DH+ y otro fijo del mismo tipo. Este tipo de procesadores posee todas las características necesarias para su implementación en comunicaciones par a par mediante ethernet, así como su control tanto localmente mediante el puerto DH+ o remotamente, gracias a la implementación con software especializados. Este tipo de procesadores es bastante eficaz en sistemas que requieran de la utilización de redes en anillo con redundancia aplicada.



Ilustración 45 Controlador PLC-5

En la "Ilustración 25 Controlador PLC-5" se pueden observar los principales componentes del PLC, siendo el chasis, la fuente de alimentación, los módulos de comunicación y las E/S. En el caso del PLC-5 existen diversos tipos de chasis dependiendo de las necesidades de periféricos que se precisen. Las opciones que existen para la familia PLC-5 constan de la serie 1771-AxB con 4,8,12 y 16 ranuras disponibles

La siguiente familia de PLC's de Allen Bradley es la familia MicroLogix 1000, esta familia se caracteriza por ser la más económica de la marca. En su interior cuenta con un puerto de comunicaciones RS-232C el cual es utilizado como puerto serial para comunicación directa interface-operator. A su vez es posible la conversión para su uso en redes DH-485 común en sistemas de Allen Bradley.

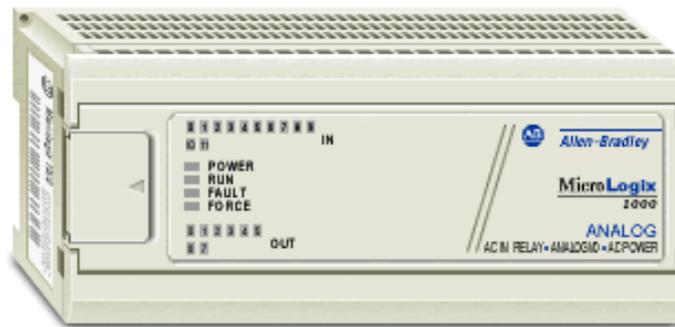


Ilustración 46 MicroLogix 1000

Esta familia utiliza para su programación lenguajes como Ladder logic, o MicroLogix Hand Held programmer, el cual permite la programación directa mediante comunicación por puerto directo.

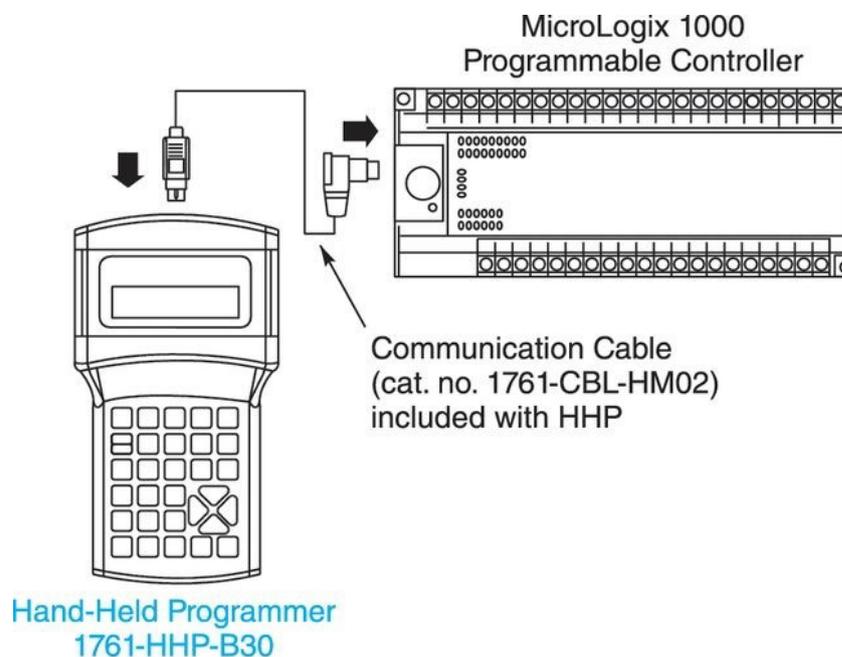


Ilustración 47 Hand-Held Programmer

Marco Teórico

Este controlador posee dos tamaños dependiendo de las entradas y salidas a usar [16 O 32 E/S], es por eso que su tamaño es bastante compacto y permite su instalación en armarios reducidos. Sus tensiones de alimentación son las expresadas en la siguiente tabla:

Tabla 6 Configuraciones electrónicas MicroLogix

E/S	Tipo	Fuente de alimentación
24V DC	Relé	120/240V AC
120V AC	Relé	120/240V AC
24V DC	Relé	24V DC
24V DC & FET 24V DC	Relé	24V DC
120V AC	Relé y Triac	120/240V AC

Por último, otra de las grandes familias de controladores lógicos programables de la marca Rockwell es la Familia SLC 500. Esta serie ofrece un mayor abanico de posibilidades respecto a configuraciones con E/S o fuentes de alimentación, lo que permite un diseño de control más eficaz y personalizado a las necesidades de uso. Dentro de esta familia existen dos series principales: Compactos y Modulares

Las principales diferencias de las dos series, se basan en las limitaciones de los compactos frente a los modulares. La serie de compactos ofrece como rango de entradas y salidas desde las 20 hasta las 40 E/S Digitales fijas con posibilidades de 24V dc o 120/240V ac y salidas tipo relé, triac o transistor. Por otro lado, los modulares no poseen este tipo de limitaciones ya que permiten el Inter conexionado de distintos modelos dependiendo del uso que se requiera.

Dentro de la gama de PLC´s modulares se agrupan cinco tipos principales de procesadores, dependiendo de la capacidad que requiera en su aplicación. Los procesadores son: SLC 5/01, SLC 5/02, SLC 5/03, SLC 5/04, SLC 5/05 los cuales se diferencian básicamente en el número de E/S que pueden albergar y los puertos de conexión que poseen, siendo el 5/01 el más básico y el 5/05 el más completo. Este PLC cuenta con la serie de chasis 1746-Axx cuyo número de ranuras va desde las 4 hasta las 13 dependiendo del modelo que se precise, estos son compatibles con todos los procesadores de la familia SLC 500



Ilustración 48 SLC 500 Modular

Por otro lado, este tipo de procesadores, requieren de una fuente de alimentación rectificadora que garantice un funcionamiento, siendo necesaria una fuente por cada chasis que se instale. Para la elección de chasis de la serie 1746, existe la serie de fuentes de alimentación compatibles 1746-Px la cual posee un amplio rango de voltajes de línea dependiendo de la tensión necesaria tanto en AC como en DC

6.5.1. E/S y actuadores

Una vez conocidos los principales procesadores de la marca, se desarrollarán los distintos módulos de entradas y salidas, así como los actuadores de la propia marca: Variadores, arrancadores, HMI's, etc... Continuando con la familia de procesadores SLC 500 y su serie 1746 para fuentes de alimentación, existe también una gama de E/S bajo la misma denominación. Los módulos de E/S 1746 tanto analógicos como digitales cuentan con una implementación conjunta dentro de los sistemas de automatización sin necesidad de sacrificar espacio dentro de los chasis, reduciendo así el costo que esto conllevaría. Permite una mayor versatilidad de uso frente a otros dado que no es necesario la desconexión de los módulos para el mantenimiento o remplazo de módulos, así como su interconexión en distintas partes de los armarios eléctricos gracias a la utilización de cables Flex I/O, cables semirrígidos que permiten el conexionado de tarjetas posicionadas en distintas partes del armario eléctrico. Otras de las características de este tipo de E/S se basa en la posibilidad de acoplamiento óptico y filtros de ruido lo que implementa la longitud de la comunicación con el sensor sin sacrificar recursos.



Ilustración 49 Módulos E/S Serie 1746

Aparte de las tarjetas E/S existen muchos más componentes necesarios para la ejecución de un sistema de automatización. Los variadores, son uno de estos componentes. Los variadores de frecuencia, explicados anteriormente son necesarios a la hora de realizar proyectos de automatización, es por eso que Rockwell Automation cuenta con una amplia gama de variadores de frecuencia con diversas propiedades dependiendo de las necesidades establecidas por el cliente. Una de las gamas más utilizadas es la serie PowerFlex, en concreto la serie 520. La principal diferencia de este tipo de variadores consiste en un diseño modular que permite su mayor versatilidad frente a otros variadores, así como su capacidad de implementación con tarjetas accesorias, también posee un puerto USB para la conexión directa con el ordenador, con el fin de facilitar las tareas de mantenimiento, direccionamiento etc...



Ilustración 50 Familia de variadores PowerFlex 523

Entre sus características reside la posibilidad de alternar el control del motor, dependiendo de:

Relación V/Hz

Control vectorial sin sensorizar

Control vectorial de la velocidad de bucle cerrado

Control de motores de imán permanente

Referente a las comunicaciones posee un puerto EtherNet/IP incorporado lo cual facilita las comunicaciones de red, así como la posibilidad en las ranuras externas de la inserción de una segunda tarjeta EtherNet/IP de doble puerto para topologías que requieran anillos de campo. Estas tarjetas a su vez también permiten la implantación de tecnologías de comunicación DeviceNet o PROFIBUS DP comunes en redes de campo de nivel bajo.

Referente a la interacción con el operario, Allen Bradley posee una serie de interfaces de operador los cuales permiten una instalación completa en lo que a sistema informático se refiere. La marca posee en su catálogo desde computadoras industriales, certificadas para ambientes hostiles o preparadas para ambientes industriales, hasta terminales gráficos y monitores industriales útiles para el conocimiento de la información en tiempo real y la interacción con el sistema.

Una de las opciones integradas más novedosas de la marca es la implementación de computadores industriales con pantalla integrada de la gama VersaView 5400 la cual integra todos los elementos precisos para la gestión de HMI en un solo componentes sin necesidad de realizar instalación auxiliares o complementarias.



Ilustración 51 VersaView 5400

Para realizar el contenido de la pantalla se requerirá de un software especializado brindado también por la marca.

6.5.2. Software

El software encargado de gestionar los sistemas de automatización de la marca Rockwell es el RSLogix 5000, entorno de desarrollo integrado capaz de satisfacer numerosos campos de la automatización. Este software posee programación simbólica mediante estructuras y matrices, facilitando lógicas complejas como escaleras, texto estructurado y funciones de diagramas de bloques mediante editores.

Este software es compatible con la mayoría de los controladores de automatización de Allen Bradley partiendo de su gama media. A su vez permite una mayor integración de dispositivos permitiendo implementaciones de dispositivos EtherNet/IP mediante hojas estructuradas de datos que permiten la interconexión eficaz.

Una ventaja que llama la atención de este software es la configuración automática de dispositivos, lo que ahorra enormemente los tiempos de preparación del hardware, permitiendo también configuraciones individualizadas para cada módulo. Su simulador permite también la gestión del proyecto sin necesidad de portar el hardware en el momento de desarrollo del mismo

Con el desarrollo del anterior apartado se consigue realizar una idea global de los principales componentes y características de la marca Rockwell Automation. Otras de las grandes marcas dentro del ámbito industriales es la marca Siemens, líder en el sector en el territorio europeo.

6.6. SIEMENS

La empresa Siemens, dado que se trata de una de las mayores multinacionales del mundo, cuenta con su propia línea dedicada al sector del control y la automatización. Es por ello que utiliza diferentes nomenclaturas dentro del sector para referirse a las distintas partes de los sistemas de automatización como pueden ser SIMATIC, SINAMIC, SCALANCE, SIMOTION, SINUMERIK, SIMOTICS o SIRIUS creados para poder focalizarse dentro del campo.



Ilustración 52 Logo Siemens Automation & Drives

Para realizar un correcto análisis se procederá al estudio de los mismos apartados y componentes que los realizados con la marca Rockwell Automation

6.6.1. CPU

La gama de controladores lógicos programables de Siemens más estandarizada recibe el nombre de SIMATIC S7, incluyendo dentro de ella modelos como S7-300, S7-400, S7-1200 o el S7-1500. Dado que los modelos 300 y 400 poseen desventajas básicas de desactualización frente a la serie 1200 y 1500, se procederá al estudio únicamente de los últimos dos modelos citados.

La serie S7-1200 permite al usuario controlar una gran variedad de dispositivos para diversos usos en el campo de la automatización. Su diseño consiste en una CPU integrada, ya que tanto el microprocesador como la fuente de alimentación se encuentran dentro del controlador. Esta cualidad ofrece una estética compacta y versátil en instalaciones de pequeño tamaño.

Su CPU cuenta con puerto PROFINET, el cual puede llegar a trabajar conjuntamente con módulos de comunicación para redes RS232, ofreciendo una mayor versatilidad si se precisara la intercomunicación con otras marcas o realizar variaciones en las redes existentes.



Ilustración 53 SIMATIC S7-1200 CPU

Esta CPU soporta la implementación de módulos signal board, dedicados para la asignación de módulos de red. Esto será necesario en casos que se precise de la interconexión de varias CPU entre sí, o de la necesidad de una pantalla HMI en una red de PLC. La serie S7-1200 soporta un total de tres módulos de comunicación dotados de conexiones RS232 y RS485 garantizando una comunicación tanto con el operario como con el sistema.

Respecto a su programación, este PLC soporta bloques lógicos de diversos tipos, lo que permite una mayor estructuración por parte del usuario.

Bloques de organización, bloques de datos, funciones o bloques de función son algunas de las posibilidades que ofrece, los cuales combinados entre si garantizan un desarrollo del programa eficiente e intuitivo para su comprensión y modificación

Una de los inconvenientes a primera vista de esta CPU es los lenguajes de programación disponible dado que la serie S7-1200 solo incorpora lenguajes KOP (Lenguaje de contactores) y FUP (Lenguaje de diagramas de bloques) lo que dificulta la realización de un programa estructurado y eficaz a la hora de realizar posteriores ampliaciones en las líneas de proceso.

Su principal competidor es la serie S7-1500. Esta serie no comparte la metodología compacta de la 1200 dado que cuenta con módulos independientes. Los principales módulos que lo conforman son la CPU, una batería de fuentes de alimentación, tarjetas E/S , módulos de señales y de comunicaciones. La modularización de los componentes garantiza una mayor versatilidad y customización de las configuraciones posibles, lo que garantiza una mayor eficiencia en el proceso productivo a desarrollar. A demás esta serie si permite la programación en lenguajes como AWL o SCL permitiendo desarrollar estructuras que optimicen la gestión del programa. Esta serie también cuenta con un

display de configuración, que permite realizar tareas dentro de la memoria sin necesidad de la conexión mediante el puerto de comunicaciones con el ordenador, pudiendo así realizar direccionamientos de módulos o conocer su estado directamente desde el PLC.



Ilustración 54 S7 1500

Este modelo cuenta con las posibilidades de interfaces para comunicaciones PROFINET, pero además posee PROFIBUS DP internamente dentro de la CPU sin la necesidad de módulos de comunicación o señales adicionales. Permite conexiones punto a punto y Ethernet con funciones de seguridad integrada mediante protocolos internos del fabricante. Las gamas que poseen estas cualidades son la 1516F-3 PN/DP y la 1518F-4 PN/DP

Sin duda alguna la serie S7 1500 es la más completa de la marca y la recomendada a utilizar por sus capacidades adaptativas a cualquier tipo de necesidad.

Marco Teórico

6.6.2. E/S y actuadores

Respecto a los elementos de la periferia, la marca Siemens cuenta con una serie de módulos pertenecientes a la gama SIMATIC siendo las principales SIMATIC ET-200AL, SIMATIC ET-200MP, SIMATIC ET-200SP respecto a lo que tarjetas de E/S se refiere y la familia SINAMICS dedicada a variadores de frecuencia.

Comenzando por la serie ET-200AL, Siemens trabaja con una conexión a la periferia limpia y minimalista, separando cada ET independientemente conectadas entre sí mediante cables desarrollados con denominaciones M8-M12. Esto permite crear redes descentralizadas de los armarios mediante conexiones PROFINET o PROFIBUS-DP lo que permite una mayor versatilidad a la hora de realizar la instalación eléctrica. Marcas de buses de campo como las expuestas en el apartado de comunicaciones industriales, realizan también opciones del estilo como es el caso de los buses de campo AS-interface.

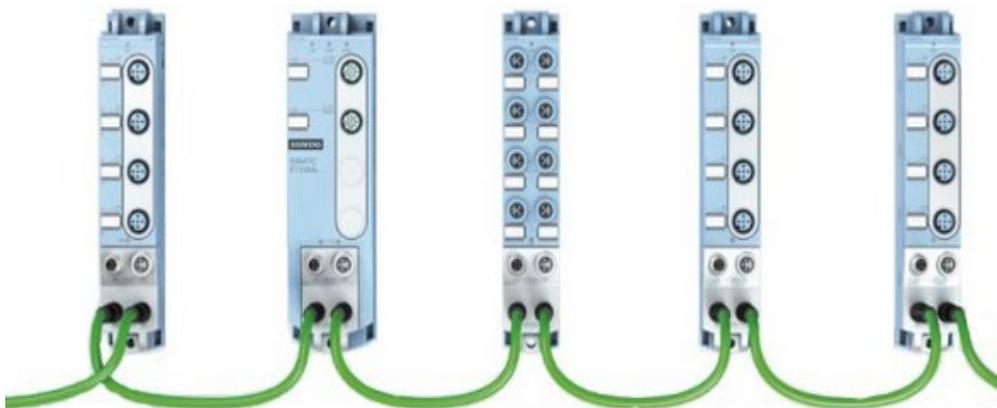


Ilustración 55 ET-200AL

Dejando a un lado las tarjetas descentralizadas para zonas de periferia Siemens posee las series ET200MP y la serie ET200SP

En el caso de la ET200MP parte de una arquitectura compacta pero modular la cual se encuentra implementada por red PROFINET y PROFIBUS desarrollada para su instalación en armarios de control o islas. Cada módulo contiene hasta 32 canales los cuales pueden ser verificados mediante LEDs de diagnóstico colocados al lado de cada borna de conexión



Ilustración 56 ET-200MP

Otra de las tarjetas principales de la marca es la ET-200SP, formada por un módulo interfaz, encargado de realizar la comunicación de todos los controladores regidos por protocolos PROFINET, la posibilidad de la adicción de hasta 64 módulos de periferia mediante el uso de unidades base pasivas como soporte. Esta implementación garantiza un sistema de periferia multifuncional gracias a su estructura escalable. Además, la incorporación de un módulo interfaz permite el intercambio de datos desde el controlador maestro y los módulos esclavos sin pérdidas de velocidad ni información.



Ilustración 57 ET-200SP

Marco Teórico

Una vez expuestos las diferentes posibilidades sobre tarjetas de E/S, para poder realizar un análisis equitativo con la marca previamente expuesta, Siemens cuenta con una gama de variadores de frecuencia denominados SIMANIC.

Los variadores de frecuencia más estandarizados de Siemens son la familia SINAMICS G120C Baja tensión. Este tipo de convertidores se encuentra dimensionado tanto para motores tanto síncronos como asíncronos normalizados, haciendo hincapié en los propios de la marca pertenecientes a la familia SIMOTICS. Diseñados para aplicaciones desde 0.55kW hasta los 18.5kW. Se trata de un sistema modular de varias unidades funcionales, CPU, Display, Fuente de alimentación y motor

Respecto a los tipos de regulación aplicados a los variadores de frecuencia, existen los siguientes:

- Control por vector
- Regulación de corriente-flujo
- Característica multipunto parametrizable

La elección de este variador es la más acertada dado que sus campos de utilización son universales garantizando una alta efectividad.



Ilustración 58 SINAMICS G120C

Para concluir el apartado se analizará las soluciones aportadas por la marca para los dispositivos HMI. La familia designada a esta función es la familia SIMATIC HMI la cual incluye diversos paneles dependiendo de las necesidades y condiciones de la instalación.

Uno de los dispositivos más utilizados dada su versatilidad son las pantallas Comfort Panels Standard. Estos paneles ofrecen funciones tanto de manejo como de visualización sin perder cualidades necesarias en ámbitos industriales como son la robustez o la estabilidad. Posee resoluciones variadas desde las 4" hasta las 22" lo que,

dada su capacidad táctil permite en tamaños adecuados su control directo por pantalla, siendo necesario el teclado externo para tamaños más pequeños.



Ilustración 59 Comfort Panel

6.6.3. Software

En el caso de Siemens, uno de sus softwares más utilizados en la actualidad corresponde al paquete TIA PORTAL V14 (Totally Integrated Automation Portal) el cual incorpora programas como STEP7, WINCC o PLCSIM. El software utilizado para la programación del sistema y para la configuración tanto de la red como del hardware es el STEP7. Este software permite desarrollar editar y visualizar, la lógica necesaria para el control de una aplicación. También permite el desarrollo de sistemas de visualización basados en pantallas como pueden ser los Confort Panel. Estas propiedades quedan desbloqueadas una vez se introduce el Hardware en la pantalla pertinente.

A su vez, la herramienta PLCSIM permite de la simulación de los distintos modelos de PLC's de la marca como la serie 1200 o la serie 1500, útil para poder ejecutar los programas realizados con STEP 7 y realizar simulaciones y modificaciones en tiempo real que garanticen el correcto funcionamiento de los programas sin la necesidad de volcarlos físicamente en una CPU. Para completar el paquete, TIA PORTAL incluye WINCC Software desarrollado para la elaboración de sistemas SCADA útiles para la interacción hombre máquina. A diferencia de un HMI, el diseño de un sistema SCADA permite la utilización de históricos y sincronización con bases de datos.

Una vez conocidas ambas marcas y estudiado sus características, dada la versatilidad tanto en programación como en compatibilidad de componentes, se utilizará la marca Siemens para el desarrollo del proyecto en lo que, a CPU, E/S y actuadores propios se refiere. Por lo que toda la programación del sistema se implementará mediante la utilización de la herramienta TIA PORTAL V14 y conjuntamente programación en Ladder Logic para la activación de los distintos dispositivos y lenguaje estructurado SCL para el desarrollo de las rutinas.

6.7. CLIMATIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO

Como sistema complementario a la automatización del sistema de racionamiento, se elaborará un sistema de climatización automatizado a fin de garantizar en la medida de lo posible el bienestar del animal

Debe considerarse que la temperatura de bienestar para la vaca lechera, con un valor de humedad relativa ambiente del 60%, oscila entre los 7 y 28°C. Si los valores de temperatura y humedad superan su límite de confort, la vaca tiene dificultad para disipar el calor corporal.

Los principales parámetros que deben controlarse para obtener un ambiente adecuado en una explotación ganadera son:

Por encima de los 22-25°C, las vacas empiezan a reducir su toma de alimentos, necesitan energía para eliminar el exceso de producción de calor y, por lo tanto, empiezan a perder sus niveles habituales de producción de leche.

La Iluminación con vacas lecheras han demostrado que, si se someten a una alternativa de luz y oscuridad determinadas, se aumenta, de una manera notable, su producción lechera.

La Humedad Relativa del Aire Está relacionada con la temperatura ambiente. Los valores ideales se encuentran entre 60 y 80%. Por encima del 80% la humedad relativa es perjudicial tanto para los animales como para el edificio y sus instalaciones.

La Calidad del Aire Los contenidos máximos en volumen de gases deben ser:

- Anhídrido carbónico $\leq 3,5 \text{ ‰}$
- Amoníaco $\leq 0,1 \text{ ‰}$
- Ácido sulfhídrico $\leq 0,02 \text{ ‰}$

Para ello se emplearán sensores de gas comerciales medidores de CO₂, a fin de garantizar los setpoints establecidos por los estudios consultados.

La velocidad del aire también está relacionada con la temperatura en el recinto; así, para temperaturas bajas, una velocidad de más de 0,5 m/s (2 km/h) causa una sensación de frío desagradable.

De lo dicho vemos que la renovación del aire no podrá efectuarse satisfactoriamente si el local no tiene un volumen suficiente o, lo que es lo mismo, la superficie ocupada por cada animal deberá ser superior a un valor determinado.

Tabla 7 Espacio necesario por especie

ESPECIE		ESPACIO		VELOCIDAD DEL AIRE m/s	
		m ²	Nº Animales	INVIERNO	VERANO
AVÍCOLA	Ponedoras (sobre tela metálica)	9	100	0'15	0'3
	Pollos de carne	6	100	0'1	0'2
CUNICULA	Gazapos	5 ÷ 7	100		
	Gazapos en recría	20 ÷ 25	100	0'15	0'25
	Hembra con sus crías	40 ÷ 50	100		
PORCINO	Maternidad (cerda + camada)	7 ÷ 7'5	1	0'05	0'1
	Lechones			0'15	0'2
	Engorde 25 kg.	0'3 ÷ 0'55	1	<0'2	<1'5
	Engorde 110 kg.			<0'5	<4'5
BOVINO	Jóvenes			(T < 5 °C) 0'1 (T < 10 °C) 0'2	
	Adultos	2'5 ÷ 6'5	1	(T < 5 °C) 0'2	

La ventilación de las granjas también es un factor importante a tener en cuenta dado que en los recintos en que se alojan animales se produce la emisión de un conjunto de gases como anhídrido carbónico, gases amoniacales y sulfhídricos, además de vapor de agua, que son perjudiciales para un buen estado de salud de los animales, así como para la conservación de los aparatos y de los edificios. Para mantener unas condiciones ambientales óptimas es necesario extraer estos gases para no sobrepasar los niveles señalados, sustituyéndolos por aire nuevo. Esta aportación de aire nuevo también servirá, en verano, para eliminar el exceso de calor que puede ser perjudicial tanto para la salud de los animales como para la rentabilidad de la explotación.

Deberá distinguirse entre:

Sistemas de ventilación de invierno en que, debido a la necesidad de limitar los gastos de calefacción, la ventilación debe mantenerse al mínimo para asegurar las condiciones de salubridad de la explotación.

Marco Teórico

Sistemas de ventilación de verano en que, para evacuar el exceso de calor, deberán extraerse cantidades de aire importantes evitando, no obstante, las corrientes de aire perjudiciales para los animales.

Tabla 8 Temperaturas óptimas ganado Bovino

TIPO DE ANIMAL	Zonas de temperaturas óptimas con aire calmado	Producción de calor sensible en W por animal	Desprendimiento de vapor de agua en g/h por animal	Caudal de ventilación deseable en m ³ /h	
				invierno	verano
Vaca lechera	-10 a +30 °C	780	680	por animal	
				120-160	400-800

Una vez conocido los tipos de ventilación partiendo de la estación del año en la que se encuentre es oportuno exponer los distintos tipos de sistemas de ventilación existentes dado que teóricamente, la ventilación puede efectuarse mediante los dos sistemas siguientes:

“Los manejos de enfriamiento se deben enfatizar en horas de la tarde (última ordeña), así la reducción de la temperatura corporal aumentará el consumo de alimento durante la tarde y noche, y mantendrá la producción de los animales”

La ventilación mecánica también llamada ventilación dinámica, es la que el movimiento del aire se consigue gracias a ventiladores accionados por un motor. Según la forma en que se introduce el aire, se habla de:

- Ventilación por depresión
- Ventilación por sobrepresión

En ambos casos el diseño suele basarse en los siguientes principios:

- a) El aire limpio debe introducirse por la parte alta con el objeto de que, antes de llegar a los animales, sufra un cierto calentamiento.
- b) La extracción del aire viciado debe efectuarse por la parte baja después de pasar sobre las deyecciones y evitando, en lo posible, que este aire se extienda por el recinto.

La ventilación por depresión es el sistema de ventilación más extendido y se basa en provocar una depresión, en el interior del local, fluyendo el aire exterior por las aberturas. El aire viciado se extrae mediante ventiladores instalados en la parte inferior de las paredes o en el extremo de conductos situados debajo del pavimento.

Las ventajas que presenta este sistema de ventilación, son:

- Velocidad de aire muy baja, a nivel de los animales.
- Una mayor facilidad para insuflar aire dentro del local, precalentado en invierno cuando exista un cielo raso.
- Una mejor evacuación de los gases nocivos.
- Un coste de instalación, generalmente, más reducido.
 - La ventilación por depresión puede realizarse sin necesidad de instalar conductos

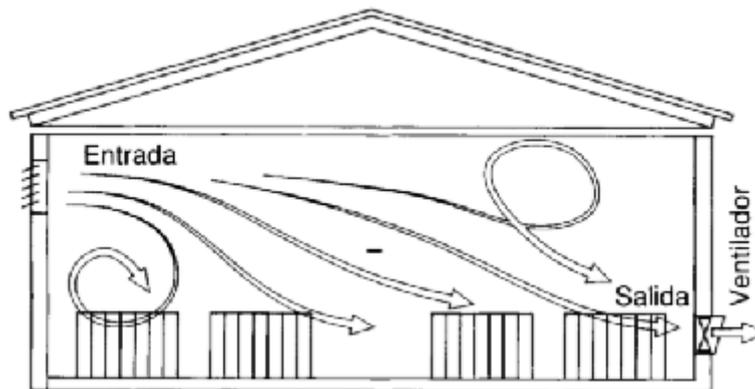


Ilustración 60 Ventilación por depresión

La ventilación por sobrepresión controla la entrada de aire pues, normalmente, el aire se introduce mediante un conducto. No obstante, pueden presentarse problemas en el momento de proyectar las salidas, si se quieren respetar las reglas que se han dado más arriba.

Las ventajas que presenta este sistema de ventilación son:

- Un mejor control del aire de ventilación.
- Una independencia mayor respecto a las condiciones ambientales exteriores, principalmente respecto a los vientos imperantes en la región.
- Posibilidad de tratar el aire de ventilación (calefacción, filtrado, etc.).
 - Mayor facilidad para asegurar una buena repartición del aire dentro del recinto.

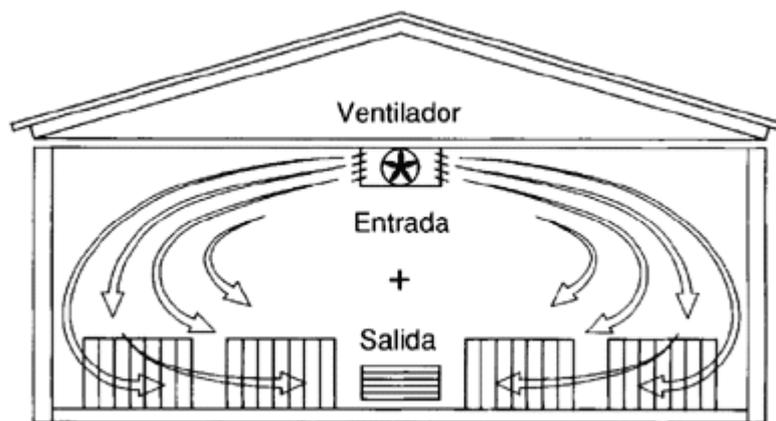


Ilustración 61 Ventilación por sobrepresión

“Esto permite mantener a los animales en una condición de normo-termia la mayor parte del día”

Si se somete a un animal a estrés calórico, puede experimentar la siguiente serie de consecuencias las cuales pueden resultar de carácter irreversible

En este caso, se pueden observar signos del estrés calórico como jadeo, aumento de frecuencia respiratoria, hipertermia (temperatura mayor a 38,5°C), menor consumo de alimentos, problemas digestivos, inmunodepresión y, en terneros de crianza artificial, también trastornos respiratorios y/o digestivos.

- Aumento del ritmo respiratorio (lo normal es 35-50 rpm). Aquí la frecuencia respiratoria es rápida y superficial. Frecuencias sobre 100 rpm requieren medidas de enfriamiento inmediato.

- Incremento de entre 20% y 50% en el volumen de agua consumida. -Caída en la ingesta de alimento, lo que trae como consecuencia una disminución de la rumia.

- Jadeo y salivación. Jadeos leves ya son muestra de estrés. Si hay un jadeo excesivo, el animal está con la lengua afuera y tiene el cuello estirado, es muy probable que esté viviendo un estrés extremo.
- Aumento de la temperatura corporal y de piel. El ganado prefiere estar de pie para disminuir la superficie corporal expuesta al sol.
- Modificación del patrón de pastoreo. "El ganado cubre el 70% de su capacidad de pastoreo durante las horas más frescas", advierte Paula González.
- Reducción de entre 10% y 50% en el consumo de materia seca, según las condiciones meteorológicas y de producción.
- Falta de coordinación y debilidad muscular son indicativos de deshidratación y desequilibrio electrolítico y metabólico.
- Colapso, convulsiones, coma y muerte.

6.8. SOLUCIONES ADOPTADAS

Una vez conocidos diversos equipos para el desarrollo del proyecto, se realizará un breve resumen como justificación en la elección de cada uno de ellos.

6.8.1. *Equipos metálicos*

Dado que los equipos metálicos, no corresponden al campo de la automatización, ha sido el departamento pertinente el encargado de su selección. Su exposición en un primer apartado del proyecto radica en la aportación de información extra sobre el desarrollo del proceso. Es por ello que los tanques de almacenamiento y las cintas transportadoras entre otros, serán parte vital del proceso a automatizar, dado que el estado en el que se encuentren serán condiciones imprescindibles a la hora de una correcta optimización.

6.8.2. *Sistemas de automatización*

Para poder implantar la solución propuesta se seleccionará para su desarrollo un sistema controlado por PLC, dado que la utilización de estos equipos optimiza el sistema propuesto gracias a la posibilidad de realizar futuras modificaciones en la planta existente, así como su fácil mantenimiento y sustitución de los elementos del campo sin necesidad de realizar modificaciones en el propio controlador. Para conocer dichos errores y mantenimientos el propio PLC facilita esta tarea con sistemas de alarmas y errores dentro del propio PLC, así como la posibilidad de transmitirlo al HMI. A continuación se realizará la elección de todos los equipos necesarios para el desarrollo del sistema.

6.8.2.1. *Controlador lógico programable*

El PLC seleccionado para el desarrollo del proceso, es el S7-1500 CPU 1518-4 PN/DP dadas sus características, permite entre otras cosas la posibilidad de realizar grandes ampliaciones en la granja sin necesidad de la instalación de nuevos PLC's a modo de esclavos, así como la consulta y la monitorización en tiempo real desde equipos externos sobre el controlador.

6.8.2.2. *Módulos E/S*

Para la conexión de todos los componentes de campo se utilizarán tarjetas ET200SP dada su versatilidad y compatibilidad con todos los sistemas. La utilización de estos componentes también garantiza una mayor eficacia a la hora de realizar futuras

ampliaciones sobre el proceso, dado que su posibilidad de adición de distintos tipos de tarjetas en serie facilita esta labor.

6.8.2.3. Variadores de frecuencia

El control de los motores, tanto de las cintas transportadoras como de las etapas de mezclado necesitaran de un control para su correcto funcionamiento. Es por ello que se utilizaran variadores de frecuencia de la gama SINAMICS G120 para ello.

6.8.2.4. Comunicaciones industriales

Para la interconexión de todos los elementos pertenecientes a la red superior, se utilizarán comunicaciones tipo PROFINET DP sencilla de implementar y con la posibilidad de distanciar los elementos distancias considerables.

Dado que las redes PROFINET necesitan de los correspondientes puertos de conexionado, se utilizará para la ampliación de dichos puertos el switch propio de Siemens XCALANCE x208 para poder realizar ampliaciones sobre la conexión de elementos al PLC.

La red de campo, en su defecto ira cableada mediante conexionado directo dada su versatilidad a la hora de realizar las conexiones y su coste. Para poder realizar un control sobre estos elementos de campo será necesaria la implementación de una red de campo.

6.8.3. Elementos de campo

6.8.3.1. Transmisores de presión (PT)

Para poder conocer la presión de la línea de suministro de agua, es necesario de la utilización de estos componentes para evitar altas presurizaciones, por ello se utilizarán los componentes industriales para el cálculo de presión absoluta y presión relativa Cerabar PMC51 Endress+Hauser

6.8.3.2. Transmisores de caudal (FT)

Estos sensores, verificaran si realmente la planta se encuentra funcionando o no, dado que por atascos o taponamientos el producto puede quedar obstruido y falsear el estado del mismo, es por ello que se utilizaran sensores capacitivos para esta tarea, así como para la medición del nivel de los tanques de recepción y el control de los comederos. En el caso de los conductos de agua, se utilizarán caudalímetros electromagnéticos.

Marco Teórico

Como sensores de caudal se utilizarán caudalímetros electromagnéticos Promag H500 Endress+Hauser y en el caso de los sensores capacitivos se han seleccionado los detectores inductivos IFS240 IFM.

6.8.3.3. Válvulas de suministro de agua (V)

Para la realización del suministro de agua, se utilizarán elementos compatibles con las necesidades sanitarias y control digital por lo que las válvulas seleccionadas para el suministro de agua, y para la implementación del circuito de agua serán las válvulas con cabezal de la marca GEA.

6.8.3.4. Actuadores (ACT)

Los actuadores de simple y de doble efecto encargados tanto del suministro como del guiado de los animales hasta el área correspondiente serán también implementados por tecnología AS-i. Es por ello que requerirán de un módulo especializado para componentes sin tecnología AS-i KA45 A/B , 4DI que mande las señales de activación al actuador correctamente. Como actuadores se utilizarán cilindros de simple y doble efecto de la casa FESTO.

6.8.3.5. Control TAG RFID(TAG)

Para poder realizar el guiado de los animales, será preciso la utilización de sistemas RFID implantando un emisor en cada crotal del animal, y receptores establecidos en diversos puntos para garantizar el correcto envío del animal, desde el punto de ordeño, hasta el habitáculo de alimentación.

Para esto, se utilizarán sistemas de identificación RFID de la casa PEPPERL+FUCHS capaces de suministrar tanto los interfaces de control, como los TAG's. El módulo de control elegido es el IC-KP-B17-AIDA1 con tecnología PRODINET DP.

A grandes rasgos estos serán los principales componentes necesarios para la realización del proyecto. A continuación, se procederá a realizar el desarrollo del mismo, siguiendo el siguiente diagrama de desarrollo.

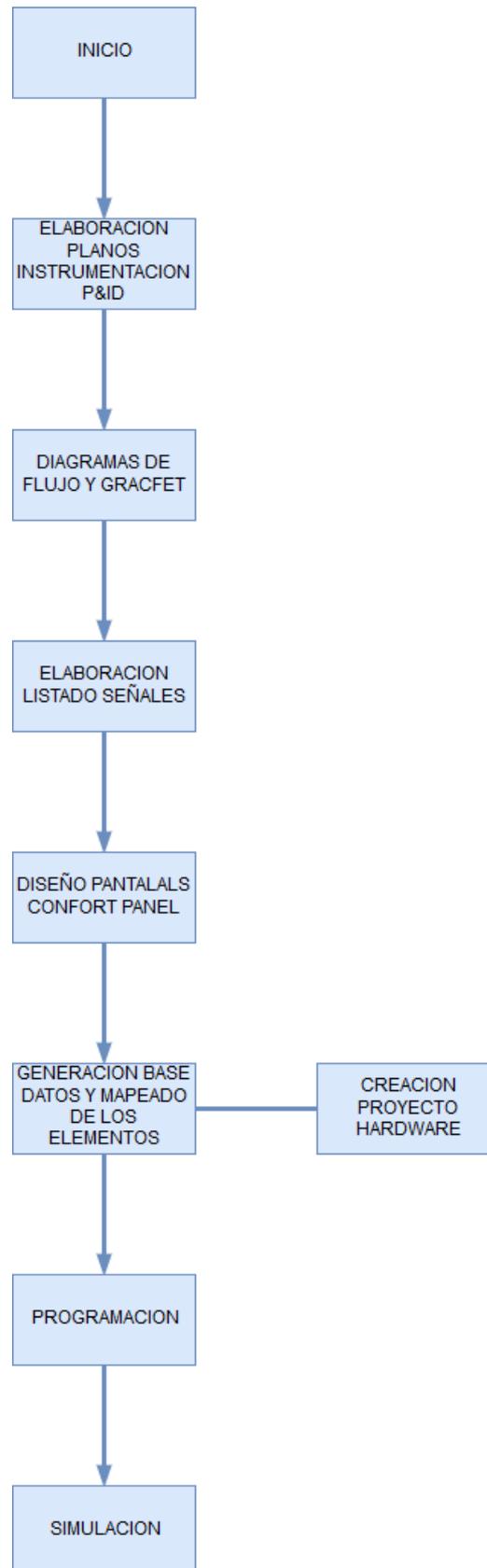


Ilustración 62 Diagrama de desarrollo

7. DESARROLLO

Una vez expuestos todos los campos necesarios para la elaboración del presente proyecto, se procederá al desarrollo del mismo. Para ello se comenzará con la elaboración de una metodología de desarrollo para hacer frente a todos los apartados necesarios para satisfacer el alcance del presente proyecto. Para ello los puntos a realizar serán:

- GANTT
- Explicación del proceso
 - Planos de proceso P&ID
 - Numeración de elementos
 - Clasificación de elementos
 - GRACFET
- Topología de red
- Listado de señales
- Diseño SCADA o HMI
- Programación
 - Simulación
- Manual de operario

7.1. DIAGRAMA GANTT

A modo complementario para poder entender mejor el desarrollo que supone la ejecución de un proyecto dentro del ámbito de la automatización, se procederá a la elaboración de un diagrama de Gantt, focalizando su desglose en las tareas pertinentes al campo de la automatización dentro de lo que a un proyecto de completo supone.

El tiempo estimado para la ejecución del apartado de automatización comienza una vez que la oferta ha sido planteada y las tareas de ingeniería mecánica e ingeniería eléctrica se encuentran en periodo avanzado, sirviendo estas de base para el comienzo del apartado de automatización. Dentro de las tareas de automatización se realizará una subdivisión de dependiendo del ámbito de trabajo, siendo los principales apartados:

- Asignación de tareas de automatización: Con una estimación de 90h aproximadas. Esta tarea servirá de planificación para el desarrollo del apartado de automatización garantizando la eficacia en la ejecución de esta parte del proyecto, entre sus tareas se encuentra la elaboración de los GRAFCET de proceso o el diseño e la topología de Red. Su volumen de horas radica en la necesidad de realizar un esfuerzo por trasladar el proceso productivo al lenguaje de programación del autómatas.
- Programación del sistema: Apartado con más volumen debido a su alcance, en este estado del proyecto se deberá realizar todas las tareas relativas a la programación del sistema, así como el diseño y desarrollo del SCADA dotándole del código requerido para su posterior simulación. Para poder verificar dicho funcionamiento se realizarán simulaciones periódicas a modo de verificación inicial del cumplimiento de los GRAFCET diseñados. Este apartado trabajará de manera paralela a las posteriores tareas de comisionado y puesta en marcha debido a los ajustes posteriores que requerirá el sistema. Para dar por terminado este apartado es necesario por parte del cliente, la aceptación del sistema mediante la visualización y aprobación de las simulaciones existentes para posteriormente pasar al comisionado del sistema.
- Comisionado y puesta en marcha: Apartado del proyecto donde en un primer momento se realizan todas las comunicaciones con los equipos y calibración, para posteriormente realizar la puesta en marcha de los equipos de manera gradual. Dentro de este apartado existen tareas como, calibración de bombas, comprobación de válvulas, o ajuste de transmisores. **(GANTT desarrollado en ANEXO 2 "Planificación")**



Ilustración 63 GANTT

7.2. EXPLICACIÓN DEL PROCESO

El punto de partida del sistema comienza en los silos y tanques de recepción de alimento y llegara a su fin con la recepción del alimento y el agua por parte del animal. Para poder llevar a cabo una estructuración y una programación más efectiva y coherente, se realizará una diferenciación dentro del proceso en áreas de trabajo.

Las áreas de trabajo serán las siguientes:

- Área 1: Área de recepción
- Área 2: Área de mezclado
- Área 3: Área de clasificación
- Área 4: Área de suministro de alimento
- Área 5: Área de suministro de agua

La comprensión global del proceso será más efectiva una vez explicada cada área de manera individualizada, aunque previamente a la explicación detallada de cada área, será necesario seleccionar el sistema maestro de control para todas las áreas. Para la programación de todas las áreas, se implementará un PLC S7-1518 capaz de abastecer todas las áreas necesarias, así como la posibilidad de suplir futuras modificaciones sin necesidad del empleo de otro PLC adicional. La desventaja de la utilización de un único PLC maestro en el sistema, radica en la necesidad de hacer paradas ante modificaciones de Hardware sin ninguna otra posibilidad. Es por ello por lo que se debe intentar realizar el menor número de modificaciones posibles, a fin de evitar interrupciones en la producción.

Una vez seleccionado el controlador lógico programable se procederá al diseño y la explicación de todas las áreas pertenecientes al sistema productivo, abarcando los campos citados al inicio del apartado necesarios para su total comprensión.

7.2.1. Área 1: Área de recepción

La función principal de esta área consiste en el abastecimiento y reposición constante de los productos necesarios para el proceso productivo por parte del cliente, mediante sus pertinentes proveedores, como de los envíos de los productos requeridos por la receta seleccionada para la producción. Los equipos metálicos de esta área serán: Tanques de concentrado, silos de grano, cintas transportadoras. Todos estos equipos deberán ir acompañados debidamente de su instrumentación necesaria para el proceso de automatización.

El proceso de esta área comienza con el arranque de la secuencia, situándose en estado de "Solicitud de producción". En este paso únicamente se encontrarán en funcionamiento los agitadores de los tanques, evitando que se aplasten los granos manteniendo un constante movimiento dentro de estos. Una vez se reciban los datos necesarios para la elaboración de la receta y el operario proceda al arranque manual de todo el proceso, el sistema avanzara hasta la posición "Verificación de parámetros". Este paso funciona como un intermedio de activación de las cintas transportadoras para evitar arranques bruscos cuando se realice la adicción de producto sobre la línea, una vez cerrados todas las bocas de hombre de los tanques se procederá al avance del sistema. A continuación, se procede al estado principal de la secuencia "Producción". Se realizarán las correspondientes adicciones de producto sobre la línea acorde a las necesidades de la receta, manteniendo para ello la cinta transportadora parada, una vez terminadas todas las adicciones el sistema avanzara al paso "Vaciado" encargado durante un periodo de tiempo establecido a suministrar el producto a la siguiente área.

El plano de instrumentación P&ID y su correspondiente GRAFCET Se encuentran reflejados en el "Anexo 1"

Desarrollo

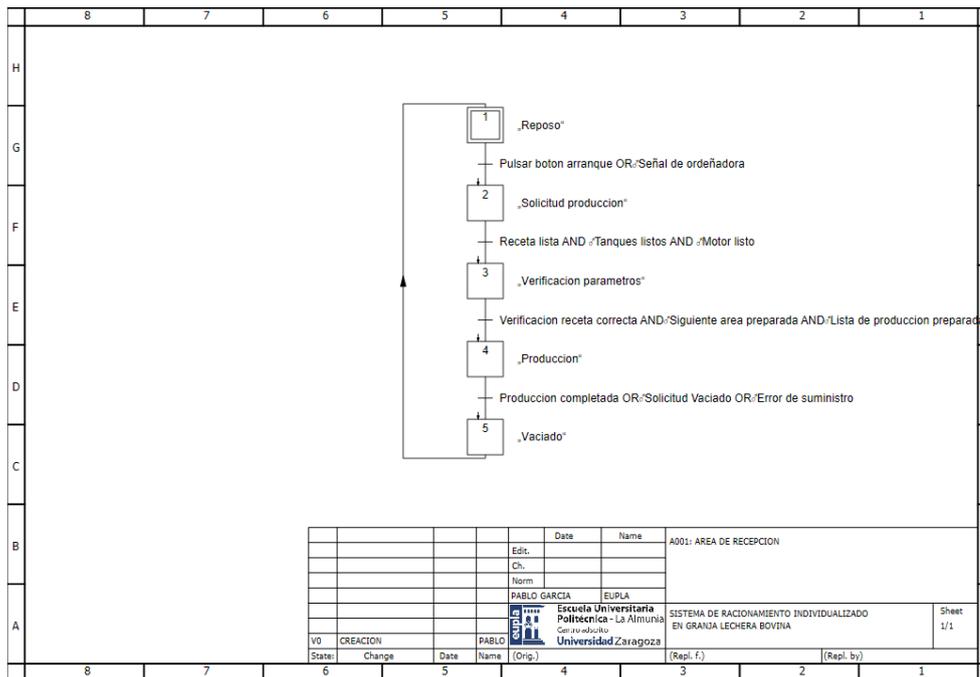


Ilustración 64 GRAFCET A001

7.2.2. Área 2: Área de mezclado

Una vez realizada la petición de suministro de los diferentes componentes en la receta, se realizará un transporte desde los equipos de recepción y almacenamiento, hasta la zona de mezclado. Esta zona será la encargada de la homogeneización de los distintos componentes de las raciones programadas para garantizar una correcta dosis equilibrada por pieza de ganado. Dentro de esta área corresponderán como equipos, las cintas transportadoras encargadas de los envíos de producto, así como la mezcladora.

El arranque de esta área se realiza de forma esclava a la primera, manteniéndose en estado de reposo hasta que la secuencia del área 001, se encuentre en estado de "Vaciado". Es este estado el sistema avanzara al estado "Recepción de producto" arrancando el motor de recepción para el mixer. Una vez finalizado el tiempo de vaciado, la secuencia continuara al estado de "Mezclado" que, accionando el motor del mixer, trabajara durante el tiempo establecido mezclando todos los productos de la receta. Terminado este paso el sistema enviara al área 004 el resultante, indicando el A003 cuál de los habitáculos es el acondicionado para la recepción.

El plano de instrumentación P&ID y su correspondiente GRAFCET Se encuentran reflejados en el "Anexo 1"

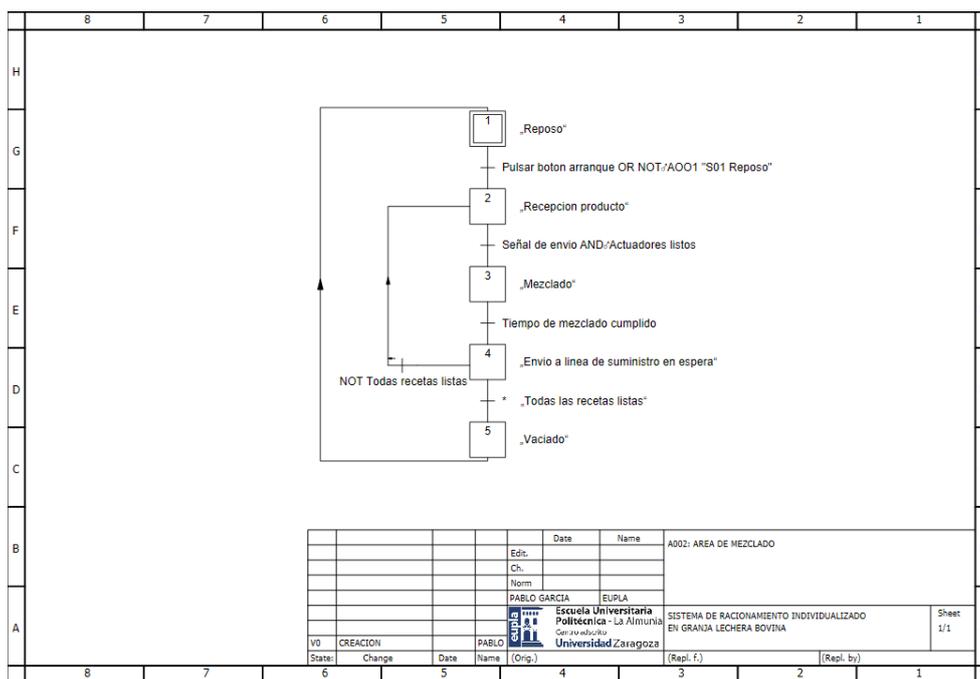


Ilustración 65 GRAFCET A002

7.2.3. Área 3: Área de clasificación

Esta área, queda apartada de las áreas propias de tratamiento de alimentos, dado que su función será la de clasificar y conducir a los animales desde un punto inicial "Sala de ordeño" hasta el punto final de alimentación. Para llevar a cabo esta clasificación se dispondrá inicialmente de los análisis individuales sobre el ordeño previo, para posteriormente seleccionar la receta más afín al animal, dentro del propio recetario del sistema utilizando para ello valores de grasa en la leche, peso, edad y situación de explotación en la que se encuentre.

Para poder conducir eficazmente al animal hasta su destino evitando desviaciones se utilizarán sistemas RFID formados por un emisor colocado en los crotales del animal y una serie de receptores a lo largo del camino para verificar y comprobar la situación exacta del animal. Dicho recorrido estará regido por la activación de una serie de actuadores eléctricos, que señalaran mediante la apertura de portillas el camino del animal. En caso de no detectar movimiento por parte del animal dentro de unos límites establecidos, el sistema informara al cliente de la situación para manualmente acompañar al animal hasta el destino. El proceso terminara una vez el receptor de destino reciba la señal del emisor del animal, para continuar el proceso con el siguiente.

El funcionamiento de este sistema, trabaja de forma paralela a las áreas de suministro de alimento [A001, A002, A003] dado que esta área, clasifica mediante el

7.2.4. Área 4: Área de suministro de alimento

Volviendo a la línea de suministro de alimento, una vez terminado el proceso de mezclado, se enviarán las correspondientes raciones preparadas a los cubículos, una vez el animal se encuentre dispuesto para ello. Para ello una serie de cintas transportadoras realizarán los envíos, utilizando para la entrega en los comederos actuadores neumáticos con herramientas especializadas en su vástago. De esta forma, es posible la simplificación del sistema de transporte, y en caso de fallo, recuperar la ración no suministrada para su posterior uso. Para sincronizar correctamente la recepción en los comederos, se utilizarán sensores capacitivos para garantizar el suministro acompañando los envíos con una reducción en la velocidad de las cintas. Para evitar interrupciones innecesarias se seleccionarán el número de raciones suministradas a la vez, evitando así paradas del proceso innecesarias.

La secuencia arranca con la salida de producto de la mezcladora, preparando para ello los motores de las cintas transportadoras del área en el paso "Solicitud línea de envío". Una vez se encuentre el producto en las cintas del área el sistema avanzará al paso "Envío" utilizando el dato de habitáculo recibido por el área 003 y suministrándolo en el paso "Suministro" una vez el producto sea detectado por los sensores capacitivos de la línea, coincidentes con el habitáculo. Una vez finalizado dicho proceso, el sistema realizará un vaciado de la cinta para eliminar los productos restantes, los cuales posteriormente podrán ser recuperados por el operario de forma manual, y revalorizados en la línea.

El plano de instrumentación P&ID y su correspondiente GRAFCET Se encuentran reflejados en el "Anexo 1"

Desarrollo

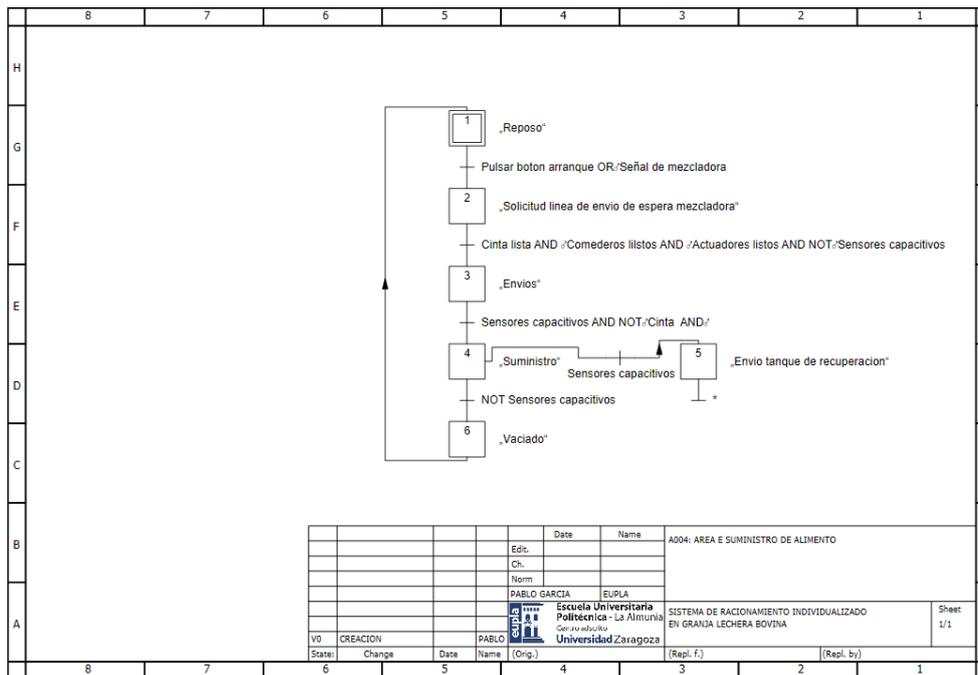


Ilustración 67 A004

7.2.5. Área 5: Área de suministro de agua

Esta área, a diferencia de las otras cuatro, trabaja de manera independiente a las anteriores, dado que el suministro de agua no forma parte del sistema de racionamiento individualizado del sistema. Esta área será la encargada de suministrar de manera constante agua en condiciones óptimas a los animales, para evitar en la medida de lo posible entre otros motivos el estrés calórico por parte del animal al que se encuentra sometido en épocas estivales. Esta área suministrara mediante tuberías, agua a una temperatura establecida a los animales. En caso de no encontrarse a la temperatura deseada, dicho agua será enviado a recirculación para volver a ser enfriada. Para poder mantener las tuberías en condiciones óptimas de suministro se realizarán lavados periódicos con la adicción de químicos, a fin de mantener la línea lo más esterilizada posible. Además, como elementos de seguridad contara con sensores de presión que eviten el colapso de la línea.

El plano de instrumentación P&ID y su correspondiente GRAFCET Se encuentran reflejados en el "Anexo 1"

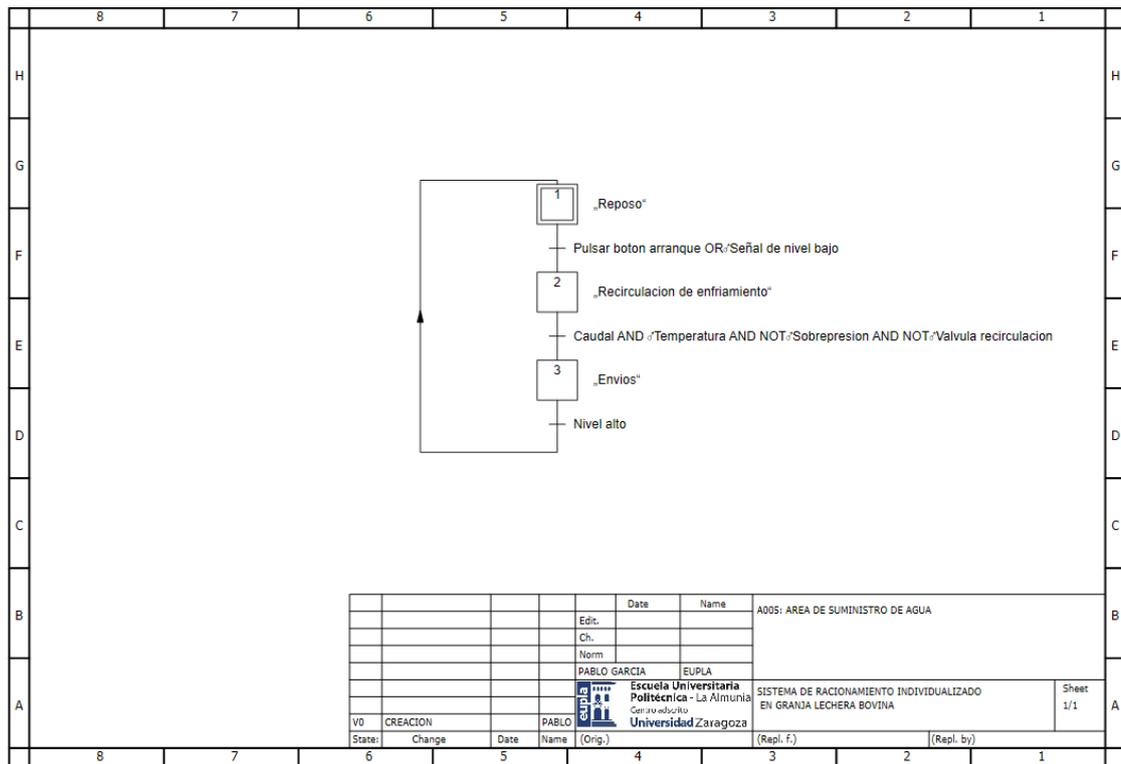


Ilustración 68 GRAFCET A005

7.3. TOPOLOGÍA DE RED

Una vez conocido el proceso en profundidad, se procederá a la elaboración de la topología de red, para posteriormente diseñar la parte de hardware que deberá llevar incluido el PLC.

El primer paso para poder desarrollar la topología de red es conocer y realizar un contaje de todos los elementos de campo pertenecientes al proceso. Para ello se ha realizado un archivo independiente, a modo de inventario de todos los módulos de control pertenecientes al sistema "ANEXO XX *Listado de Señales. GENERAL*". En este apartado se encuentran todos los elementos separados por el área en el que se encuentran. Para poder llevar una diferenciación y poder llevar a cabo una estructuración a la hora de realizar la programación de las áreas, se ha establecido una nomenclatura para cada uno de los tipos de elementos intervinientes en el sistema siguiendo la siguiente estructura:

AREA | MODULO DE CONTROL | NUMERO -> Ejemplo: "A001**FT**001"

Desarrollo

El anterior ejemplo corresponde al primer caudalímetro situado en el Área 001

Una vez realizado la tarea de inventariado los elementos que se encuentran dentro de todo el proyecto son los siguientes:

Tabla 9 Elementos de Control

TIPO ELEMENTO	CANTIDAD
Salidas analógicas	7
Entradas Analógicas	26
Salidas Digitales	1
Entradas Digitales	11
Válvulas	41
Motores con Variadores de Frecuencia	11

La siguiente tarea consistirá en la selección y diseño de los Racks de tarjetas para el posicionamiento de los elementos dentro del armario eléctrico. Dentro de este apartado la información necesaria para la elaboración de éste radica en el conocimiento de las posiciones de conexión cableadas en las propias tarjetas. Esta información es aportada externamente una vez se hayan diseñado los armarios eléctricos del proyecto.

Para poder llevar a cabo la instalación de todos los equipos referentes a la "Tabla 5: Elementos de Control" Se han seleccionado los siguientes elementos.

7.3.1.1. Tarjetas Salidas Analógicas

El modelo seleccionado para realizar el conexionado de las salidas analógicas es el siguiente:

6ES71354MB020AB0 | 6ES71354MB020AB0



SIMATIC DP, Electronics module 2 AO I High Feature for ET 200S, 15 mm width, Cycle time per module: 0.5 ms, +/-20mA; 15 bit+sign, 4.. 20mA; 15 bits Operational limit +/-0.05% with SF LED (group fault)

List Price [> Show prices](#)

Customer Price [> Show prices](#)

DataSheet in PDF [PDF Download](#)

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) [Download](#)

Estas tarjetas han sido colocadas únicamente como reserva, en caso de requerirse algún tipo de escritura directa en los variadores de frecuencia debido a estados de mantenimiento, donde los variadores no funcionen correctamente.

7.3.1.2. Tarjetas Entradas Analógicas

Estas tarjetas enviarán toda la información procedente de los elementos de sensorización, transmisores de presión, de temperatura, caudalímetros, sensores de nivel etc...

6ES71344MB020AB0 | 6ES71344MB020AB0



SIMATIC DP, Electronics module 2 AI I High Feature for ET 200S, 15 mm width, Cycle time per module: 0.5 ms, +/-20mA; 15 bit+sign, 4.. 20mA; 15 bit, Operational limit +/-0.1% with SF LED (group fault)

List Price [> Show prices](#)

Customer Price [> Show prices](#)

DataSheet in PDF [PDF Download](#)

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) [Download](#)

7.3.1.3. Tarjetas Salidas Digitales

Una vez llegado a la selección de los componentes para tratamiento de señales digitales, es necesario incluir dentro de ellas, tanto las activaciones de las válvulas, como el reseteo de la seta de emergencia del armario.

6ES7132-4BD30-0AB0



SIMATIC DP, 5 electronic modules for ET 200S, 4 DO High Feature 24 V DC/2 A, 15 mm width, Short-circuit diagnostics, SF LED 5 units per packing unit

List Price [> Show prices](#)

Customer Price [> Show prices](#)

DataSheet in PDF [PDF Download](#)

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) [Download](#)

7.3.1.4. Tarjetas Entradas Digitales

Estas tarjetas, aparte de incluir los sensores capacitivos encargados de la detección del flujo de producto, incluirán conjuntamente el feedback de las válvulas, garantizando así el correcto funcionamiento de estas, dado que un estado de "0" en cualquiera de ellas supondrá un error en ella.

6ES7131-4BD01-0AB0



SIMATIC DP, 5 módulos electrónicos para ET 200S, 4 DI High Feature DC 24V, 15 mm de ancho con retardo a la entrada param. Diagnóstico de cortocircuito en sensor con LED SF (fallo agrupado) 5 unidades por unidad de embalaje

List Price [> Mostrar precios](#)

Precio de cliente [> Mostrar precios](#)

Hoja de datos en PDF [PDF Download](#)

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) [Download](#)

7.3.1.5. Switches

Para poder conectar correctamente todos los elementos PROFINET DP a la red de campo, será preciso de la utilización de Switches. Estos a su vez podrán ser controlados por el propio PLC dado que cuentan de rutinas internas y de su propia dirección de campo.

6GK5206-1BC10-2AA3



SCALANCE X206-1LD, managed IE Switch, 6x 10/100 Mbps/s puertos RJ45, 1x 100 Mbps/s BFOC monomodo, Contacto de señalización de fallo con pulsador SET, parada, alimentación redundante, Dispositivo PROFINET IO, gestión de red, administrador de redundancia integrado, incl. manual electrónico en CD-ROM, C-PLUG opcional

List Price [> Mostrar precios](#)

Precio de cliente [> Mostrar precios](#)

Hoja de datos en PDF [PDF Download](#)

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) [Download](#)

7.3.1.6. *Variadores de Frecuencia*

Este proyecto cuenta con la incorporación de once motores, diferenciados dependiendo de la función que desempeñan dentro del proceso. Es por ello que se han seleccionado cuatro tipos distintos dependiendo de su utilización:

- Agitadores: SIMANICS G120C 5,5 kW 12 A With Filter
- Cintas transportadoras: SIMANICS G120C 1,5 kW 4,1 A with Filter
- Bombas de suministro: SIMANICS G120C 2,2 kW 5,6 A with Filter
- Mixer: SIMANICS G120C 11kW 25 A with Filter

Los parámetros suministrados por la red de campo serán posteriormente gestionados independientemente como los tipos de datos establecidos por el fabricante sin necesidad de realizar cableados adicionales en tarjetas I/O. Los más relevantes únicamente serán los Hz de funcionamiento nominal, y los estados en los que se encuentre el propio variador de frecuencia.



Todos los seleccionados se encuentran dentro de la gama SINAMICS G120C.

7.3.1.1. *Controladores TAG RFID*

Los últimos elementos para tener en cuenta para la realización de la topología de la red son los receptores RFID encargados del control en todo momento del animal durante el proceso desde la sala de ordeño, hasta su habitáculo final. Estos receptores cuentan con un bus PROFINET que permite el conexionado directo al PLC suministrando la información necesaria para el conocimiento del valor de campo leído, cuando el animal interacciona con él.

Desarrollo



Control interface unit IC-KP-B17-AIDA1

- Max. 4 read/write heads connectable
- Alternative 2 read/write heads and 2 trigger sensors can be connected
- LED status indicator of bus communication and read/write heads
- TCP/IP, MODBUS/TCP, EtherNet/IP and PROFINET IO protocol
- Connector acc. to AIDA specifications
- Integrated switch allows line topology

7.3.1.1. Otros módulos

Conjuntamente a todas las tarjetas I/O citadas anteriormente es necesario, además, realizar las comunicaciones y la alimentación de todas ellas. Para ello es necesario de la instalación de un módulo de comunicaciones "ET 200SP PROFINET Bundle IM 155-6PN Standard". Seleccionado por su capacidad de albergar hasta 64 módulos de periferia, simplificando así su instalación.

6ES7155-6AU00-0CN0



SIMATIC ET 200SP, Módulo de interfaz PROFINET IM 155-6PN High Feature máx. 64 módulos de periferia, modo isócrono 0,25 ms Multi Hot Swapping, incl. módulo de servidor

List Price	> Mostrar precios
Precio de cliente	> Mostrar precios
Hoja de datos en PDF	PDF Download
Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...)	↗ Download

Conjuntamente al módulo de comunicaciones, es necesario e la energización de las tarjetas , instalando módulos de alimentación cada un número determinado de Slots. Para ello se han seleccionado módulos "TERMINAL MODULE FOR ET200S" los cuales han sido instalados cada un rango aproximado de quince tarjetas.

6ES7193-4CA50-0AA0



SIMATIC DP, 5 módulos de terminales universales TM-E15C26-A1 para ET 200S para módulos electrónicos 15 mm de ancho, bornes de resorte, 2x 6 conexiones por bornes con acceso a AUX1 por bornes AUX1 ininterrumpida 5 unidades por unidad de embalaje

List Price	> Mostrar precios
Precio de cliente	> Mostrar precios
Hoja de datos en PDF	PDF Download
Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...)	↗ Download

Una vez seleccionado todos los módulos la distribución del Hardware resultante es la siguiente:

Tabla 10 Distribución Hardware

ARMARIO 1			
RACK 1			
SLOT	CANTIDAD	NUMERO DE SERIE	DESCRIPCION
#	1	6ES7155-6AU00-0CNO	ET 200SP PROFINET Bundle IM 155-6PN Standard
0	1	6ES7193-4CA50-0AA0	TERMINAL MODULE FOR ET200S
1 A 14	13	6ES7 131-4BD01-0AB0	ET 200S DIGITAL INPUT MODULE 4DI,HF ELECTRONIC 24VDC
15	1	6ES7193-4CA50-0AA0	TERMINAL MODULE FOR ET200S
16 A 28	13	6ES7134-4MB02-0AB0	ET 200S ANALOG INPUT MODULE, 2AI,2/WIRE ,HIGH FEATURE
29	1	6ES7193-4CA50-0AA0	TERMINAL MODULE FOR ET200S
30 A 40	11	6ES7132-4BD30-0AB0	ET200S DIGITAL OUTPUT MODULE, 4DO HIGH FEATURE 24V DC 2A
41	1	6ES7193-4CA50-0AA0	TERMINAL MODULE FOR ET200S
42 A 45	4	6ES7135-4MB02-0AB0	ET 200S ANALOG OUTPUT MODULE 2 AO , HIGH FEATURE
VARIABLES			
COMMS	CANTIDAD	NUMERO DE SERIE	DESCRIPCION
PROFINET	4	6SL3210-1KE13-3A	SIMANICS G120C 1,5 kW 4,1 A With Filter
PROFINET	4	6SL3210-1KE21-3A	SIMANICS G120C 5,5 kW 12 A With Filter
PROFINET	2	6SL3210-1KE14-3A	SIMANICS G120C 2,2 kW 5,6 A With Filter
PROFINET	1	6SL3210-1KE22-6U	SIMANICS G120C 11kW 25 A With Filter
SWITCHES			
COMMS	CANTIDAD	NUMERO DE SERIE	DESCRIPCION
PROFINET	3	6GK5206-1BC10-2AA3	SCALANCE X206-1LD, managed IE switch, 6x RJ45 ports
CONTROL TAG			
COMMS	CANTIDAD	NUMERO DE SERIE	DESCRIPCION
PROFINET	7	IC-KP-B17-AIDA1	Control Interface Unit with 2 Sensors

Desarrollo

Las tarjetas I/O colocadas en su respectivo Rack, mediante la implementación en el proyecto Hardware de TIA PORTAL SP14 V2 quedaría reflejada físicamente en el armario eléctrico del siguiente modo:

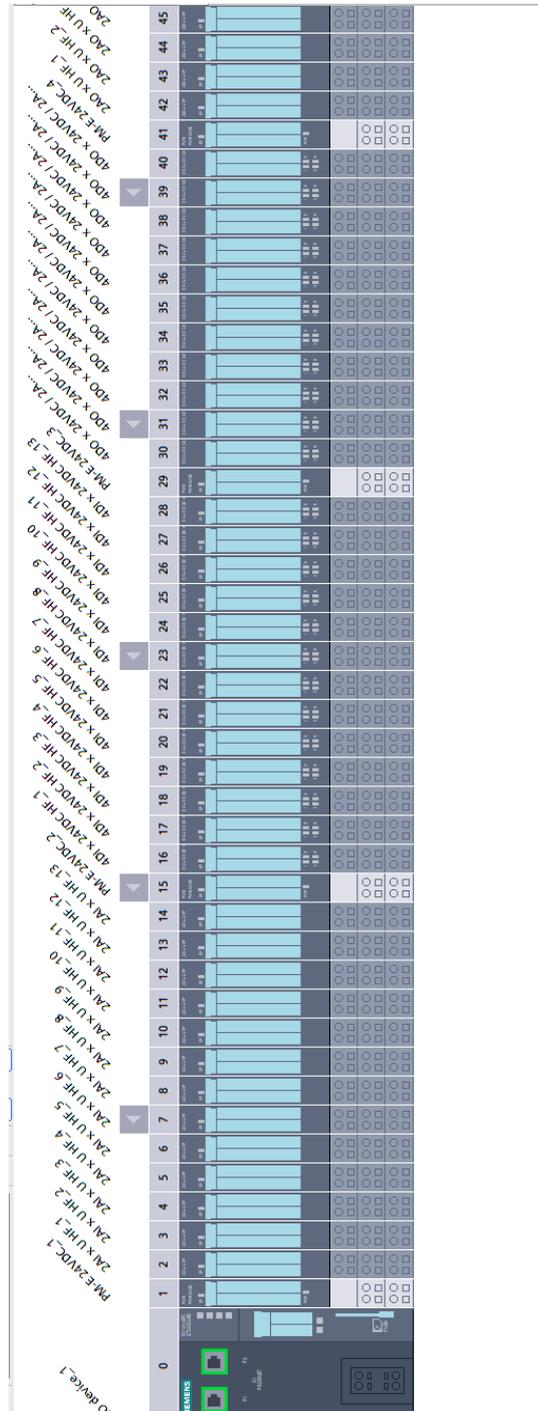


Ilustración 69 Rack 01 Tarjetas I/O

Seleccionados ya todos los componentes se realizará su diseño mediante el software TIA PORTAL SP14 V2 e implementado el Rack correspondiente a la red de campo. El resultado de la topología de red mediante protocolo PROFINET es el siguiente:

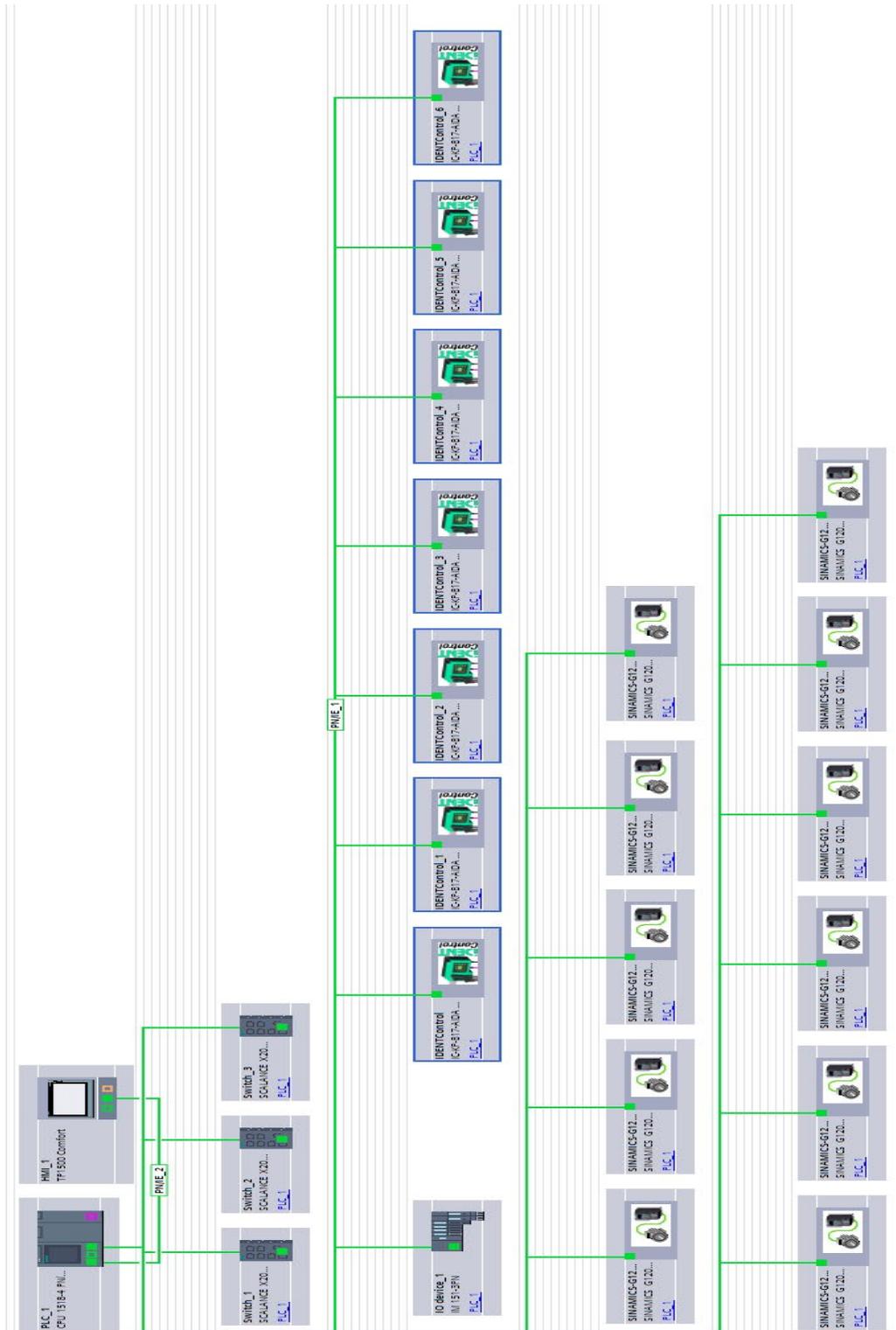


Ilustración 70 Topología de Red

Desarrollo

En la "Ilustración 25: Topología de Red" se puede comprobar la separación de la red de campo PROFINET DP llamada PNI_1 de la comunicación con el HMI perteneciente a la red PNI_2.

Para poder realizar las comunicaciones de todos los dispositivos presentes en la topología de red es necesario realizar direccionamientos de todos ellos dentro del proyecto hardware para poder realizar las comunicaciones. Es por ello que se debe establecer un rango de direcciones IP's las cuales no entren en conflicto con otras posibles redes existentes dentro del campo de aplicación del proyecto.

Tabla 11 Direccionamiento Hardware

DISPOSITIVO	DESCRIPCION	IP
HMI_1	HMI 1	192.168.1.2
ETHERNET_ET200_1	ET 200SP ETHERNET MODULE	192.168.1.3
A001M001	VDF TANQUE 1	192.168.11.1
A001M002	VDF TANQUE 2	192.168.11.2
A001M003	VDF TANQUE 3	192.168.11.3
A001M004	VDF TANQUE 4	192.168.11.4
A001M005	VDF CINTA TRANSPORTADORA A001	192.168.11.5
A002M001	VDF ENTRADA MIXER	192.168.12.1
A002M002	VDF MIXER	192.168.12.2
A002M003	VDF SALIDA MIXER	192.168.12.3
A004M001	VDF CINTA TRANSPORTADORA A004	192.168.14.1
A005CP001	VDF BOMBA IMPULSION	192.168.15.1
A005CP002	VDF BOMBA RETORNO	192.168.15.2
XCALANCE001	SWTICH	192.168.20.1
XCALANCE002	SWTICH	192.168.20.2
XCALANCE003	SWTICH	192.168.20.3
TAG001	RECEPTOR RFID	192.168.30.1
TAG002	RECEPTOR RFID	192.168.30.2
TAG003	RECEPTOR RFID	192.168.30.3
TAG004	RECEPTOR RFID	192.168.30.4
TAG005	RECEPTOR RFID	192.168.30.5
TAG006	RECEPTOR RFID	192.168.30.6
TAG007	RECEPTOR RFID	192.168.30.7

Con la estructuración de la topología de red, se tiene una visión clara de los que supone el hardware de todo el proyecto y se utilizara como soporte para la elaboración del listado de señales.

7.4. LISTADO DE SEÑALES

Realizada la topología de la red, el siguiente paso es conectar todas las señales necesarias para leer y escribir en el PLC. El listado de señales consiste en el direccionamiento de todas las señales de campo cableadas físicamente a las tarjetas I/O conectadas al PLC.

Para comenzar con el listado se debe realizar la separación de todos los tipos de señales existentes en el campo, existiendo los siguientes campos:

- Entradas analógicas
- Salidas analógicas
- Entradas digitales
- Salidas digitales

Una vez separados, se procederá a la asignación de dirección basándose en los tipos de datos gestionados por las tarjetas. Los resultados una vez realizados el mapeo de direcciones son:

Tabla 12 Listado Señales AI

ANALOG INPUTS		
TAG	DIRECCION	DESCRIPCION
A001LT001.Value	0	
A001LT002.Value	2	
A001LT003.Value	4	
A001LT004.Value	6	
A001FT001.Value	8	
A001FT002.Value	10	
A001FT003.Value	12	
A001FT004.Value	14	
A001FT005.Value	16	
A002FT001.Value	18	
A003PT001.Value	20	
A005LT001.Value	22	

Desarrollo

A005LT002.Value	24	
A005LT003.Value	26	
A005LT004.Value	28	
A005LT005.Value	30	
A005LT006.Value	32	
A005TT001.Value	34	
A005TT002.Value	36	
A005TT003.Value	38	
A005TT004.Value	40	
A005TT005.Value	42	
A005TT006.Value	44	
A005TT007.Value	46	
A005PT001.Value	48	
A005FT001.Value	50	

Tabla 13 Listado Señales AO

ANALOG OUTPUTS		
TAG	DIRECCION	DESCRIPCION
RESERVA	11	
RESERVA	12	
RESERVA	13	
RESERVA	14	
RESERVA	15	
RESERVA	16	
RESERVA	17	
RESERVA	18	
RESERVA	19	
RESERVA	20	
RESERVA	21	
RESERVA	22	
RESERVA	23	
RESERVA	24	
RESERVA	25	
RESERVA	26	

Tabla 14 Listado Señales DI

DIGITAL INPUTS		
TAG	DIRECCION	DESCRIPCION
A001V001.Feedback	52.0	
A001V002.Feedback	52.1	
A001V003.Feedback	52.2	
A001V004.Feedback	52.3	
A001V005.Feedback	53.0	
A002V001.Feedback	53.1	
A003V001.Feedback	53.2	
A003V002.Feedback	53.3	
A003V003.Feedback	54.0	
A003V004.Feedback	54.1	
A003V005.Feedback	54.2	
A003V006.Feedback	54.3	
A003V007.Feedback	55.0	
A003V008.Feedback	55.1	
A003V009.Feedback	55.2	
A003V010.Feedback	55.3	
A003V011.Feedback	56.0	
A003V012.Feedback	56.1	
A003V013.Feedback	56.2	
A003V014.Feedback	56.3	
A003V015.Feedback	57.0	
A004V001.Feedback	57.1	
A004V002.Feedback	57.2	
A004V003.Feedback	57.3	
A004V004.Feedback	58.0	
A004V005.Feedback	58.1	
A004V006.Feedback	58.2	
A005V001.Feedback	58.3	
A005V002.Feedback	59.0	
A005V003.Feedback	59.1	
A005V004.Feedback	59.2	
A005V005.Feedback	59.3	
A005V006.Feedback	60.0	
A005V007.Feedback	60.1	
A005V008.Feedback	60.2	
A005V009.Feedback	60.3	
A005V010.Feedback	61.0	

Desarrollo

A005V011.Feedback	61.1	
A005V012.Feedback	61.2	
A005V013.Feedback	61.3	
A005V014.Feedback	62.0	
A001DI001.Activate	62.1	
A001DI002.Activate	62.2	
A001DI003.Activate	62.3	
A001DI004.Activate	63.0	
A004CAP002.Activate	63.1	
A004CAP003.Activate	63.2	
A004CAP004.Activate	63.3	
A004CAP005.Activate	64.0	
A004CAP006.Activate	64.1	
EMERGENCY STOP	64.2	
RESERVA	64.3	

Tabla 15 Listado señales DO

DIGITAL OUTPUTS		
TAG	DIRECCION	DESCRIPCION
A001V001	0.0	
A001V002	0.1	
A001V003	0.2	
A001V004	0.3	
A001V005	1.0	
A002V001	1.1	
A003V001	1.2	
A003V002	1.3	
A003V003	2.0	
A003V004	2.1	
A003V005	2.2	
A003V006	2.3	
A003V007	3.0	
A003V008	3.1	
A003V009	3.2	
A003V010	3.3	
A003V011	4.0	
A003V012	4.1	
A003V013	4.2	

A003V014	4.3	
A003V015	5.0	
A004V001	5.1	
A004V002	5.2	
A004V003	5.3	
A004V004	6.0	
A004V005	6.1	
A004V006	6.2	
A005V001	6.3	
A005V002	7.0	
A005V003	7.1	
A005V004	7.2	
A005V005	7.3	
A005V006	8.0	
A005V007	8.1	
A005V008	8.2	
A005V009	8.3	
A005V010	9.0	
A005V011	9.1	
A005V012	9.2	
A005V013	9.3	
A005V014	10.0	
EMERGENCY STOP	10.1	
RESERVA	10.2	
RESERVA	10.3	

Para poder llevar a cabo una verificación una vez se realice la puesta en marcha, se debe comprobar que todos los campos de direcciones coinciden físicamente con la tarjeta y pin asignado dentro del listado de señales y a su vez dentro del proyecto hardware que verdaderamente es el mismo.

7.5. SCADA

El SCADA es el principal elemento visual de un sistema de automatización. Es por ello por lo que se pretenderá realizar una interfaz visualmente simple y sencilla, sin sacrificar ninguna de las principales funcionalidades necesarias para llevar a cabo la operación de la planta.

Para su diseño, se utilizarán como partida los planos de instrumentación PI&D elaborados en el apartado "6.1 Explicación del proceso". Se realizará una pantalla por cada área existente en el proceso, teniendo un total de cinco pantallas de proceso. A la hora de realizar el sistema SCADA, TIA PORTAL posee una serie de herramientas complementarias, útiles para la configuración del sistema.

El primer procedimiento para la elaboración de las pantallas consiste en dibujar directamente el plano P&ID utilizando para ello los elementos gráficos existentes dentro de las librerías del software. El resultado de las pantallas de proceso es el siguiente:

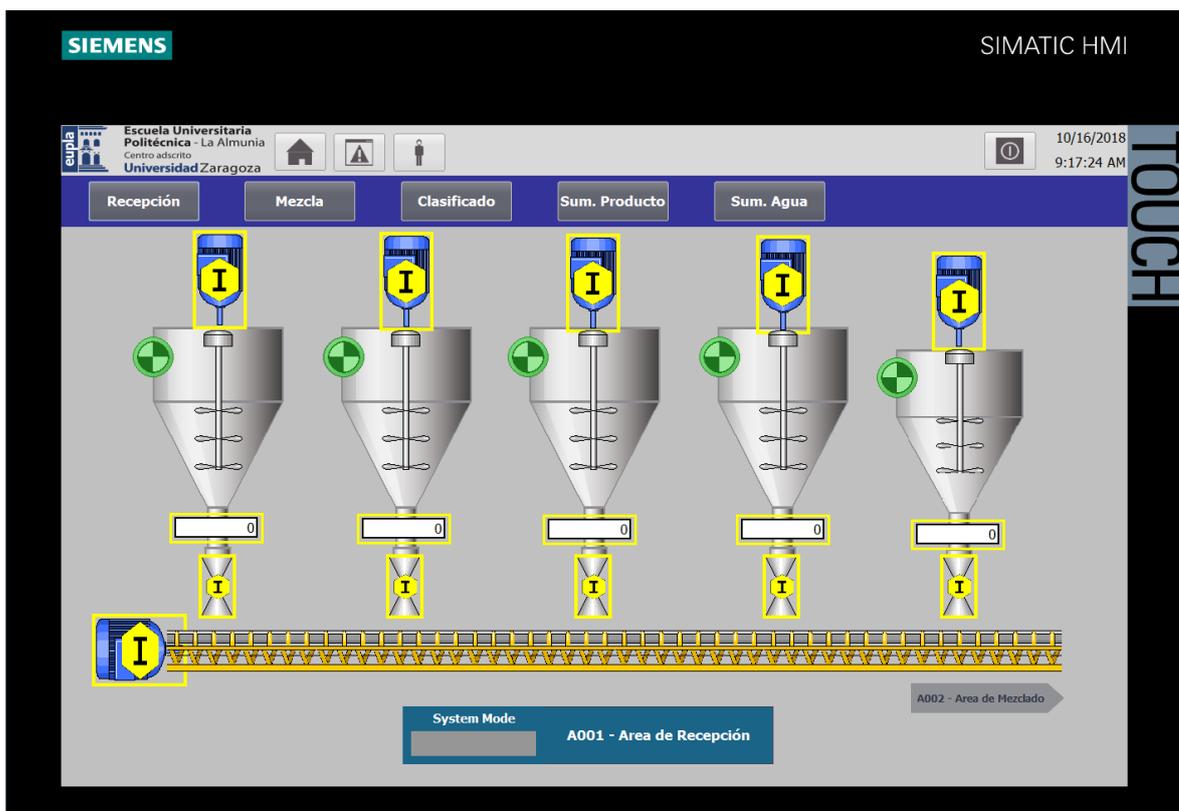


Ilustración 71 SCADA - A001 "Área de Recepción"

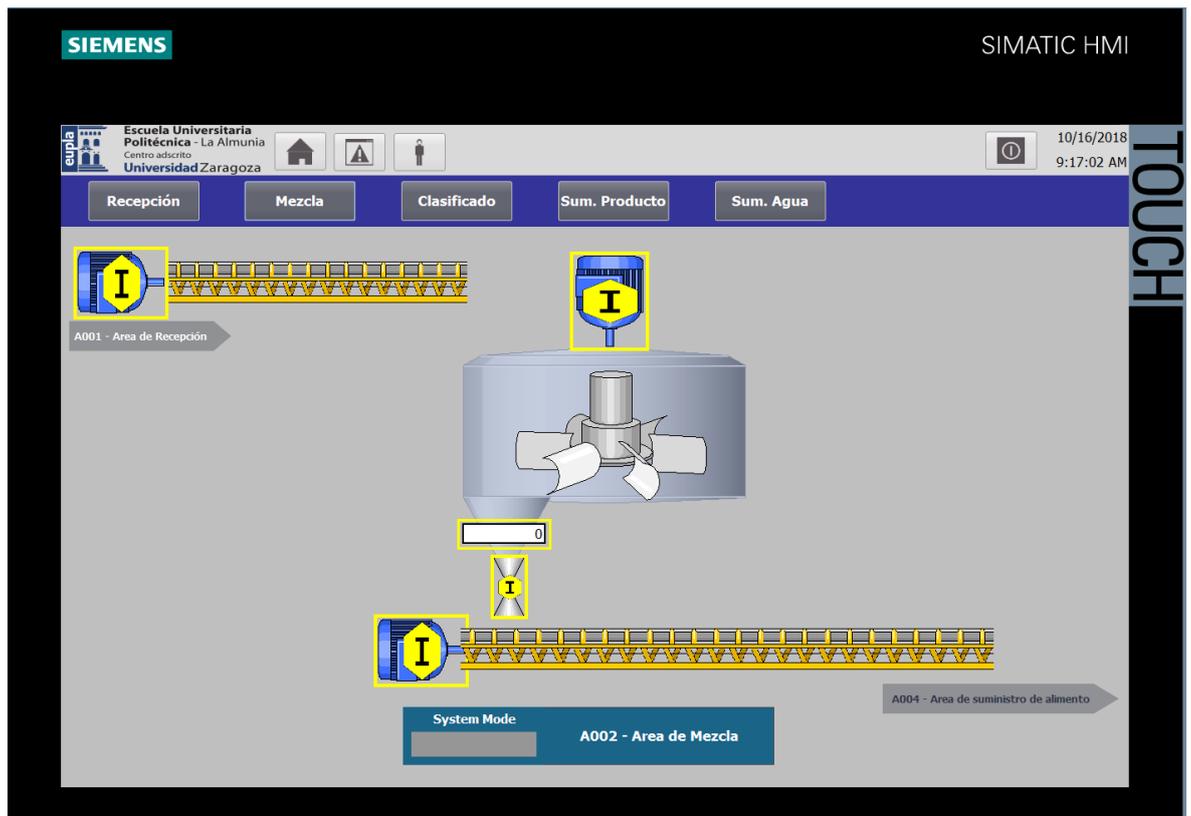


Ilustración 72 SCADA - A002 "Área de Mezcla"

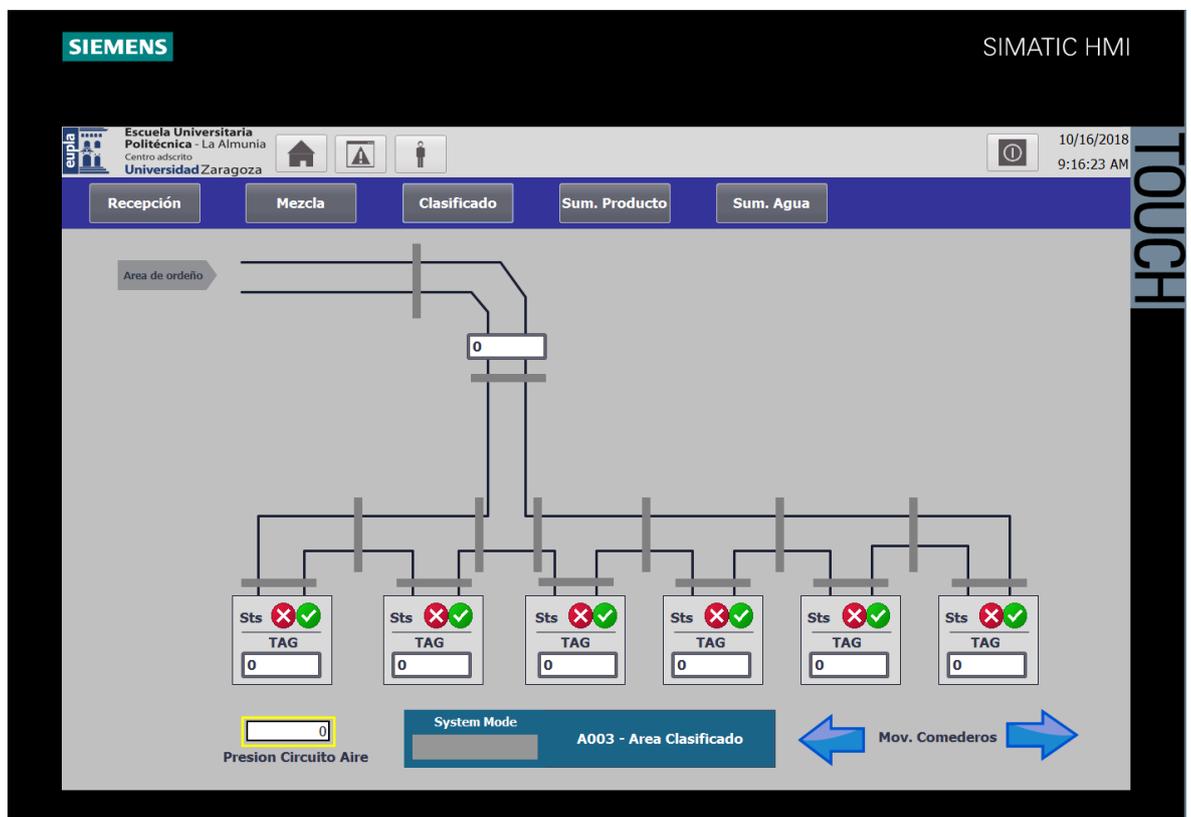


Ilustración 73 SCADA - A003 "Área de Clasificado"

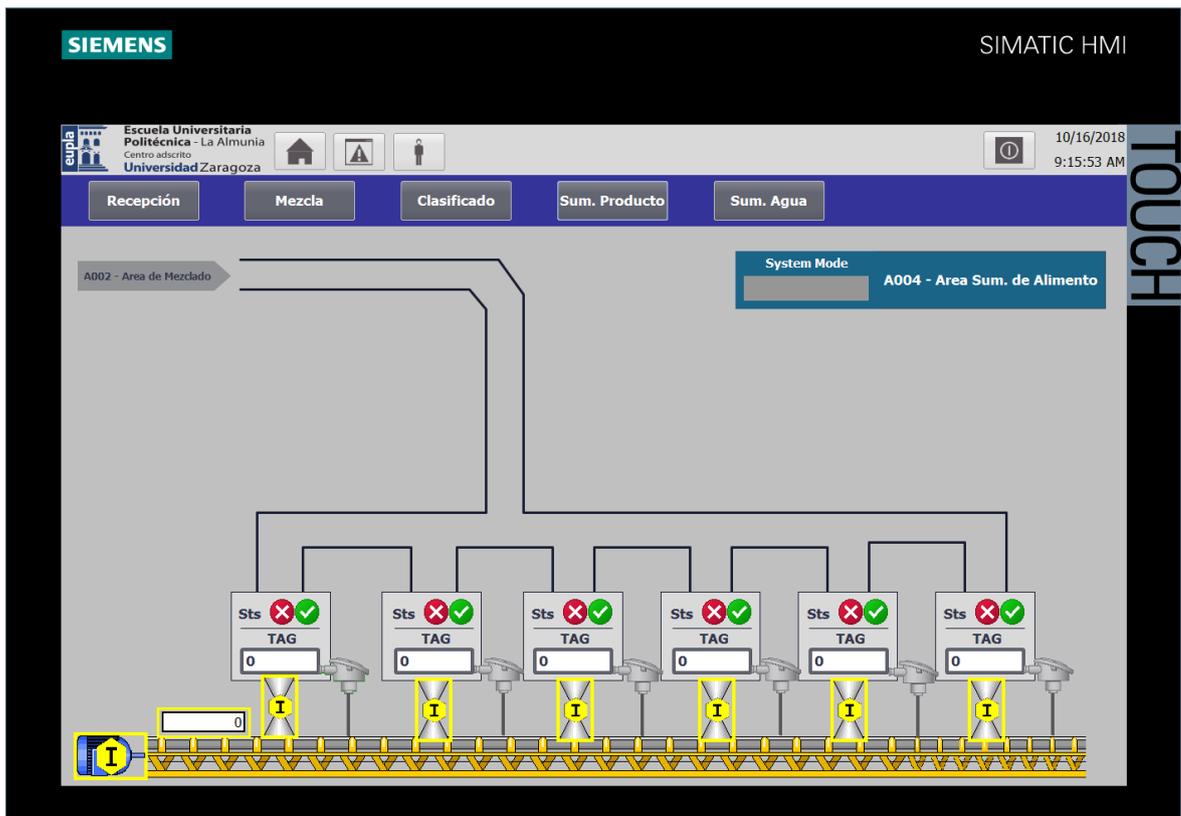


Ilustración 74 SCADA - A004 "Área de Suministro de comida"

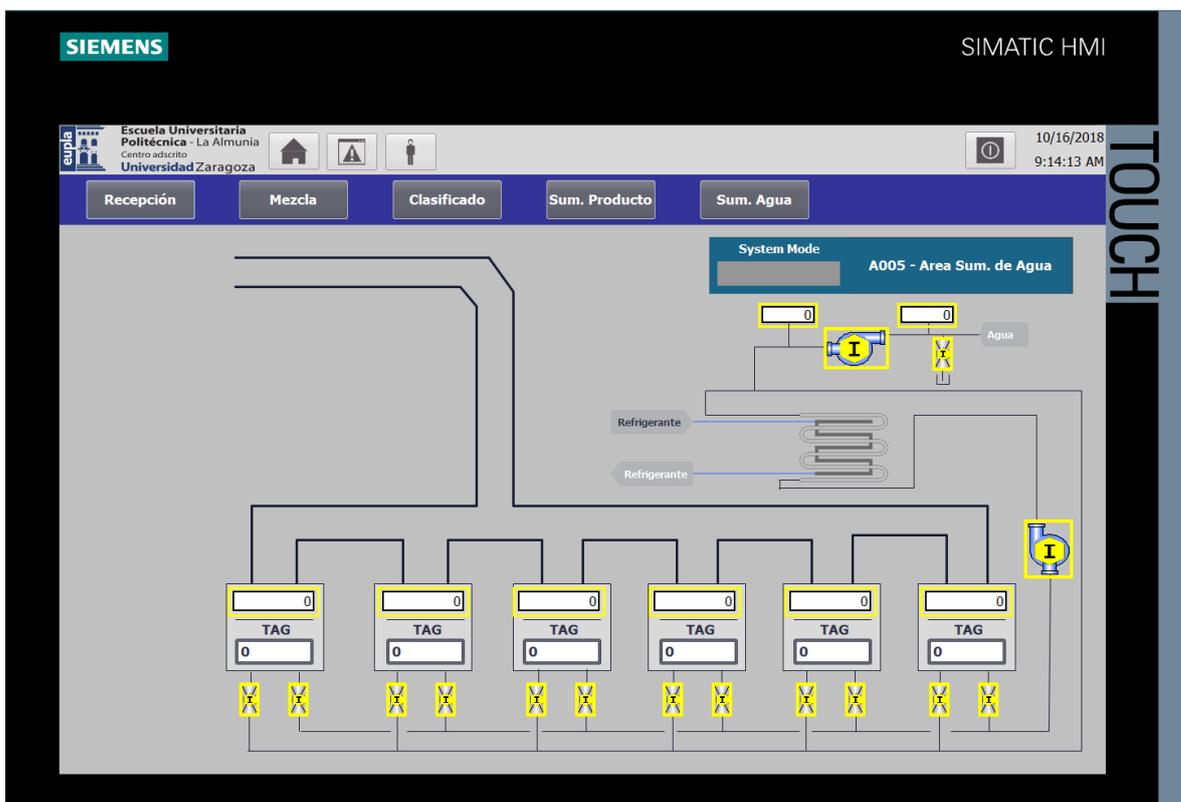


Ilustración 75 SCADA - A005 "Área de Suministro de agua"

Una vez diseñadas todas las pantallas, es necesario realizar el conexionado de todos los elementos del sistema, para posteriormente poder realizar las interacciones y animaciones pertinentes con el PLC y la programación desarrollada. Para ello es necesario comenzar con los primeros pasos de programación creando los Tags de todos los elementos de campo situados en la pantalla del HMI.

Con todos los elementos del SCADA direccionado, se procederá a la programación de todas las activaciones independientes de los elementos. Para ello es necesario preparar todos los bloques individuales de cada elemento, con el fin de almacenar de forma eficaz, las señales de estado de cada uno de los actuadores.

Los elementos en este sistema cuentan con cuatro tipos de estados, siendo los siguientes en el caso de las válvulas de corte:

- Gris: No controlada, estado de reposo
- Azul: Controlada, estado de reposo
- Verde: Controlada, estado de activación
- Borde Amarillo: Manualizada
- Hexágono central: Intervenida por el sistema

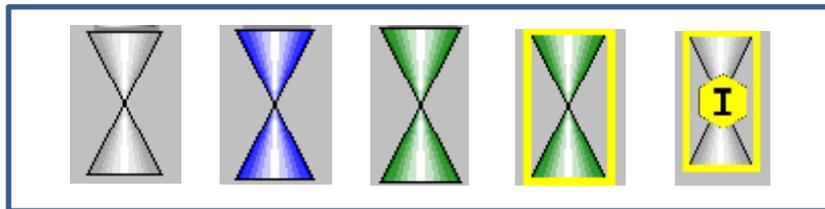


Ilustración 76 Activaciones Válvulas

Con todos los demás elementos mapeados y estructurados para poder llevar a cabo las activaciones independientes, es posible comenzar a programar las secuencias necesarias para el desarrollo del proceso.

7.6. PROGRAMACIÓN

Para llevar a cabo toda la programación del sistema, se utilizará el software TIA PORTAL SP14 V2 citado anteriormente. La programación de todo el proyecto será visualmente funcional dentro del SCADA realizando todas las secuencias explicadas dentro del sistema.

Para ello se creará un diagrama de flujo del proceso explicativo desde la salida de la vaca del área de ordeño hasta el racionamiento final.

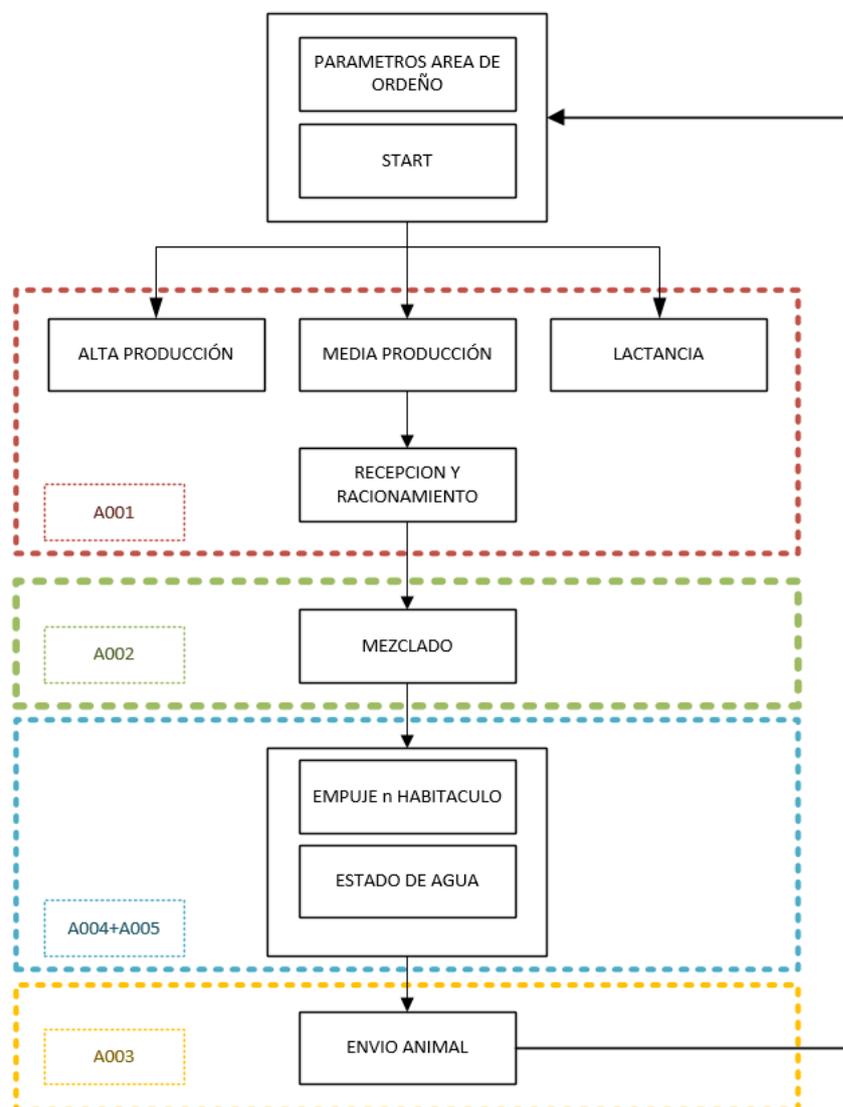


Ilustración 77 Diagrama de proceso

El desarrollo del proceso estará marcado por los GRAFCET creados anteriormente atendiendo a posibles modificaciones en tiempo real beneficiosas para el proceso.

A su vez la programación de este sistema garantiza una posible implementación real, escapando del funcionamiento virtual y didáctico. Para ello se han realizado todos los direccionamientos necesarios para su conexionado físico real como se ha reflejado en el listado de señales.

El resultado del SCADA una vez realizadas las activaciones es el siguiente:

AREA 001 ACTIVADA CON SEGUNDO TANQUE ON

En la anterior ilustración se puede comprobar cómo se incluye dentro de la pantalla tanto un contador de pasos, funcional con los pasos expresados en los GRAFCET, así como temporizadores de paso modificables en todo momento. En este caso el sistema se encuentra realizado la adicción del segundo componente de la ración, atendiendo a las necesidades propias del animal. También se puede comprobar la totalización de la ración mediante los sensores de flujo instalados en la salida del tanque.

De manera conjunta a la programación del sistema, se incluye dentro del mismo proyecto, un manual de operario útil para el manejo de los equipos por cualquier persona que necesite de la interacción con él. (*Manual de operario incluido en ANEXO 4*).

7.7. COMISIONADO

7.7.1. *Verificación Cliente*

Una vez finalizada la programación del sistema, se realizará una verificación de las funcionalidades del mismo mediante la simulación con el cliente. En dicho comisionado se verificarán las señales de todos los elementos con Checklists que posteriormente serán firmadas por el cliente garantizando su conformidad con el desarrollo y el funcionamiento del proceso. En caso de necesitar modificaciones del sistema, se deberán realizar antes de la aceptación del cliente.

Una vez verificado el sistema por parte del cliente se puede comenzar las tareas de comisionado dentro de los equipos.

7.7.2. *Test de elementos*

Apartado donde se realizar activaciones individualizadas de todos los elementos del sistema, controlados tanto por el PLC como por el SCADA. De esta forma se garantiza su funcionamiento descartando su error en posteriores pasos de la puesta en marcha.

Previamente a su testeo, una vez llegado al área correspondiente es necesario realizar los direccionamientos físicos con los elementos principales de la red, como el PLC o las tarjetas de campo. Una vez comprobado su funcionamiento es posible comenzar con la verificación de todo el campo.

Este proceso simplemente consiste en la verificación visual de la activación de todos los elementos, apertura de válvulas, giro de motores, estado de sensores, activación de componentes digitales etc...

Con todos los equipos verificados se procederá a la descarga del programa dentro del PLC para comenzar con la verificación de secuencias.

7.7.3. *Puesta en marcha*

La puesta en marcha del sistema comienza con la comprobación de todas las secuencias, sin la adición de producto. Comprobando en seco como todos los elementos se accionan en el momento que deberían. Este paso es imprescindible dado que la utilización de producto en un primer momento es un gasto para el cliente y a su vez, un gasto. Es por ello por lo que previamente a su uso con producto final se debe tener la certeza que no existirán fallos resolubles sin su adición. Aun así existen ciertas tareas

que no es posible comprobar sin producto, como la adicción dentro del área 001 para controlar los pulsos de apertura de la válvula, o el tiempo de mezcla dentro del área 002 en el paso de "mezclado".

Una vez se ha realizado la calibración de todos los equipos sin producto, se pasa a realizar las pruebas con él, ajustando todos los elementos necesarios.

El cliente en este apartado es el que tiene la última decisión y da por concluida la puesta en marcha para comenzar a producir. Es este paso es donde finalizaría el proyecto presente. Aun así, existen tareas propias al mantenimiento o ampliación del proyecto que es posible contratar por parte del cliente.

7.7.4. Servicios postventa

Aunque el proyecto no incluya las tareas posteriores de mantenimiento, los sistemas con controladores lógicos programables facilitan en una gran manera el mantenimiento del sistema sin la necesidad de realizarlo por la propia empresa principal. En caso de requerir cambios por avería, malfuncionamiento o error de cualquiera de los equipos, es potestad del cliente realizarlo, tanto por el mismo como por la subcontratación de cualquier empresa de mantenimiento.

En el caso de requerir ampliaciones o modificaciones en el propio sistema, una de las principales ventajas de la utilización de PLC's es una gran estandarización de los sistemas de programación y de implementación hardware. Aun siendo un software de pago, es el que mayor impacto tiene a nivel industrial y es utilizado por la mayoría de empresas del sector. Por ello es el cliente quien decide si dichas modificaciones son realizadas por la empresa principal o si lo subcontrata.

En el caso de requerir de los servicios de la empresa diseñadora, existen diversos métodos de gestión y asistencia mediante softwares de conexión remota y teleasistencia que ofrecen soluciones en tiempo real sin necesidad de encontrarse en las proximidades de la fábrica. Para ello es imprescindible la utilización de bases de datos ofrecidas por el controlador lógico programable para la consulta de los históricos, y la localización rápida y efectiva de los errores.

8. CONCLUSIONES

Con este trabajo se ha tratado de reflejar todas las tareas necesarias para la automatización completa de un sistema de racionamiento, siguiendo para ello todas las etapas necesarias a cumplimentar desde el diseño de los planos de hasta su puesta en marcha mediante el comisionado con el cliente.

Se ha realizado un estudio de las tecnologías existentes, seleccionando la más adecuada para esta aplicación, así como todos los elementos y componentes implicados en el sistema. Se ha explicado la estructura utilizada en el sistema, así como las conexiones utilizadas para su funcionamiento, dicha metodología es fundamental a la hora de garantizar un buen funcionamiento del sistema.

Una vez expuesta la estructura principal, se ha realizado una estructuración de todos los componentes hardware dentro del propio software del sistema transmitiendo un punto de vista práctico a la hora de la realización de su montaje. Para ello se ha utilizado un PLC, en este caso se ha seleccionado un INCLUIR PLC de última generación, capaz de soportar la mayoría de aplicaciones, garantizar su uso con ampliaciones posteriores, y con posibilidad de transmitir su estado mediante entornos web gracias a conexión remota.

Una vez seleccionados todos los equipos, se ha elaborado un SCADA, pilar fundamental de este proyecto, dado que su utilización garantiza el correcto funcionamiento del proyecto y de toda la programación existente dentro del proyecto.

Su simulación también garantiza el correcto diseño de todos los elementos principales como los GRAFCET o los P&ID

También se han reflejado las tareas necesarias una vez finalizadas las tareas de programación, ofreciendo así un punto de vista más global de lo que un proyecto de automatización significa.

Por todas estas características, aun tratándose de un sistema específico y una solución de ingeniería acomodada a las necesidades del cliente, su impacto posterior de cara a su correcto funcionamiento es abierto modificable por empresas o personas externas. La creación de un entorno visible informa al cliente de cualquier anomalía existente pudiéndose hacer cargo el mismo de su solución.

Es por ello que de cara a situaciones futuras existen diversos caminos a tener en cuenta para realizar una modificación, pero es importante tener en cuenta que la

utilización de sistemas lógicos programables en la actualidad ofrece un control versátil y eficiente frente a otro tipo de sistemas dentro del entorno industrial.

Aunque es cierto que existen diversas tecnologías innovadoras dentro del sector más eficaces dentro de una tarea concreta dada su eficiencia o precio, los sistemas lógicos programables hoy en día son diseñados con un carácter modular bastante importante que permite la focalización de las aplicaciones sin asumir los costes que pueden suponer los cambios de un equipo completo. De igual forma, la inclusión de sistemas novedosos como es el reconocimiento artificial o los sistemas 4.0 en aplicaciones como trazabilidad de la línea, mantenimientos predictivos, o eliminación de sistemas tradicionales como pueden ser la utilización de un controlador lógico programable, no se encuentran muy presentes hoy en día en la industria dado su poca estandarización y conocimiento sobre ellos, creándose de esa forma sectores cerrados y monopolios que impiden la utilización por todo el sector.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «7 razas de vacas de leche - Mis animales». <https://misanimales.com/7-razas-vacas-leche/>.
- [2] «11 - PROFINET».
- [3] «CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228ES-A.pdf».
- [4] «Cómo funciona un medidor de nivel - Blog de WIKA», Blog de WIKA (es), 19-jul-2012. <https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/como-funciona-un-medidor-de-nivel/>.
- [5] «Computadoras industriales VersaView 5400».
<https://ab.rockwellautomation.com/es/Computers/Integrated-Display-Computers/6200-VersaView-5400>.
- [6] T. de, «Consideraciones para el montaje», p. 22.
- [7] J. M. P. Rueda, «Control de un motor de inducción usando un variador de frecuencia», p. 110.
- [8] P. Panadero, «Departamento de Ingeniería Eléctrica», p. 11.
- [9] «E/S basadas en chasis». <https://ab.rockwellautomation.com/es/IO/Chassis-Based>.
- [10] «Efectos del estrés calórico en vacas lecheras - Agritotal
<http://www.agritotal.com/nota/efectos-del-estres-calorico-en-vacas-lecheras/>.
- [11] Electrín, «Entradas y Salidas de un PLC».
- [12] «Estructura de un PLC: MÓDULOS O INTERFACES DE ENTRADA Y SALIDA (E/S) – Instrumentación, Control y Automatización Industrial».
- [13] «Ganado normando - EcuRed». https://www.ecured.cu/Ganado_normando.
- [14] «infoPLC_net_guia2.pdf».
- [15] «Instrumentación industrial - Termorresistencias.» [En línea]. Disponible en: http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termorresistencias.htm.
- [16] «Manejo y alimentación de vacas productoras de leche en sistemas intensivos (Parte II)». <http://www.actualidadganadera.com/articulos/manejo-alimentacion-de-vacas-productoras-de-leche-sistema-intensivos-parte-dos.html>.

- [17] «RAZAS BOVINAS, Aquí encontraras las principales razas de ganado de leche y carne», Zootecnia y Veterinaria es mi Pasión
- [18] «ROCKWELL - componentes esenciales.pdf»
<https://drive.google.com/file/d/0B0feVA4RxKnyUHVzQ05MTFRQT1k/view>.
- [19] D. García, «RSLogix 5000, una suite de software escalable que puede ofrecer múltiples posibilidades - infoPLC». <http://www.infoplcn.net/noticias/item/1310-rslogix-5000-una-suite-de-software-escalable-que-puede-ofrecer-multiples-posibilidades>.
- [20] «S7 Controlador programable S7-1200», p. 378.
- [21] «Sensores de Temperatura tipo Termopar».
<http://www.logicbus.com.mx/termopares.php>.
- [22] «Siemens Basics of Plc.pdf».
- [23] «Silos». <https://herpasa.com/es/depositos/26/silos>.
- [24] «SIMATIC S7-1500 - El Futuro de la Industria - Siemens».
http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_avanzado/simatics71500_antigua/pages/simatics71500.aspx.
- [25] «Transmisor de Presión». <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/transmisor-de-presion1>.
- [26] «Tutorial sobre la Tecnología AS-i | SMAR - Líder em Automação Industrial». <http://www.smar.com/espanol/asi>.



Relación de documentos

<input checked="" type="checkbox"/> Memoria	117	páginas
<input type="checkbox"/> Anexos		páginas

La Almunia, a 19 de 11 de 2018

Firmado: Pablo García Carbonell