

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

” Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de manejo de lotes para los procesos de: almacenaje, transporte y despacho de materias primas en los predios de una planta de elaboración de cerveza”.

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACION
ELECTRONICA Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

Presentada por:

Mario Augusto Ortiz Campos

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2006

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que directa o indirectamente colaboraron a la realización de este trabajo, en especial: al Ing. Cesar Martin, Ing. Rafael Osorio, Ing. Oscar Rivera, Ing. Fernando Ortiz, Ing. Julio Naranjo, Ing. Patricio Vasquez, Ing. Roberto Berruz, Carlos Ugarte, Miguel Robelli y el grupo de operadores.

DEDICATORIA

A toda mi familia

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Gustavo Bermúdez.
PRESIDENTE

Ing. Cesar Martín M.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Alberto Manzur H.
MIEMBRO PRINCIPAL

Ing. Holger Cevallos
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA”

Art. 12 del Reglamento de graduación

Mario Augusto Ortiz Campos

RESUMEN

El sistema de manejo de granos constituye la primera fase en el proceso de elaboración de cerveza y desempeña un papel muy importante en la dosificación de materias primas. Para nuestro caso se diseñara un sistema capaz de manejar dos tipos de productos: arrocillo y malta, este último utilizado en diferentes variedades. Durante la manipulación de estas materias primas se genera polvo el cual se deberá separar y almacenar para su posterior utilización.

Para obtener mejores facilidades en el manejo de recetas se dividirá el proceso en las siguientes etapas: recepción, despacho de Malta, molienda de Adjuntos y despacho de Adjuntos, como anteriormente se menciona la generación de polvo es inevitable motivo por el cual durante el funcionamiento de los equipos de proceso se considerara la captación y almacenaje de este subproducto.

Para el diseño de los nuevos equipos de control y medición se consideraran las necesidades de producción, su operación actual y la compatibilidad con nuevas tendencias tecnológicas. En la adquisición, manejo y procesamiento de señales se considerara el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC) principal con varios terminales remotos comunicados a través de un bus industrial de campo (Profibus DP).

El control de recetas y dosificación de materias primas se realizara en un servidor principal con su respectiva redundancia para lo cual se diseñara un modelo de proceso con sus respectivas unidades, fases y variables de operación.

Para el monitoreo y control del proceso se considerara la utilización de computadores que obtendrán y almacenaran la información en tiempo real del PLC principal y los servidores a través de una red Industrial Ethernet entre ellos.

Adicionalmente se realizara un análisis de costo beneficio de la nueva implementación en la que se compararan los costos de implementación, el ahorro y beneficios obtenidos.

Finalmente se detallaran los ajustes y calibraciones a realizar para la obtención del mejor provecho de los equipos, mejoras en los tiempos de producción y evitar perdidas de materia prima.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE GRAFICOS.....	VII
ABREVIATURA.....	VIII
INTRODUCCION.....	XI
CAPÍTULO 1	
I. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	1
1.1 Manejo de Granos	1
1.1.1 Recepción de materias primas.....	2
1.1.2 Almacenaje.....	4
1.1.3 Despacho de Malta	6
1.1.4 Molienda de Adjuntos.....	8
1.1.5 Despacho de Adjuntos.....	11
1.2 Captación y despacho de Polvo	12
1.2.1 Detalle de equipos de captación de polvo y limpieza de grano.....	12
1.2.2 Descripción de funcionamiento.....	12
1.3 Equipos y suministros.....	16
1.3.1 Distribución de equipos.....	16
1.3.2 Aire comprimido.....	16
1.3.3 Energía eléctrica.....	17
CAPÍTULO 2	18
II. DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE CONTROL	
2.1 Consideraciones preliminares de diseño.....	19
2.1.1 Requerimientos de producción.....	20
2.1.2 Inventario de señales de campo.....	22
2.1.3 Compatibilidad con nuevos equipos de control.....	23
2.1.4 Dimensionamiento de variables de visualización.....	25
2.1.5 Dimensionamiento de unidades de proceso.....	28
2.1.6 Arquitectura de control.....	37

2.2 Selección de instrumentación.....	46
2.2.1 Selección de sensores de nivel.....	48
2.2.2 Selección de sensores de temperatura.....	54
2.2.3 Selección de confirmaciones y seguridades.....	59
2.3 Selección de controlador lógico programable PLC.....	61
2.3.1 Capacidad de memoria.....	62
2.3.2 Capacidad de entradas / salidas	66
2.3.3 Comunicación.....	68
2.4 Selección de equipos de mando.....	70
2.4.1 Selección de arrancadores.....	70
2.4.2 Selección de actuadores neumáticos.....	74
2.4.3 Selección de válvulas.....	76
2.5 Instalación.....	78
2.5.1 Dimensionamiento de paneles.....	78
2.5.2 Selección de cables, tuberías y canales.....	86
2.5.3 Recorridos, cantidades y materiales.....	94
CAPÍTULO 3	
III. PROGRAMACIÓN	95
3.1 Programación estructurada	95
3.1.1 Estructura del programa.....	96
3.1.2 Bloques de organización.....	97
3.1.3 Bloque de seguridades.....	99
3.1.4 Bloques de control.....	102
3.1.5 Bloques de proceso.....	110
3.1.6 Varios.....	113
3.2 Manejo de Lotes y Visualización	114
3.2.1 Modelo del proceso.....	114
3.2.2 Definición de unidades de proceso.....	115
3.2.3 Definición de fases lógicas.....	117
3.2.4 Definición de variables de proceso.....	121
CAPÍTULO 4	123
IV. COSTOS DE IMPLEMENTACION Y RETORNO DE LA INVERSION	
4.1 Costo de equipos.....	123
4.2 Costo de materiales.....	124
4.3 Costo de mano de obra	124

4.4 Costo final	125
CAPÍTULO 5	128
V. CALIBRACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	
5.1 Calibración de Nivel.....	128
5.2 Calibración de Temperatura	131
5.3 Protocolo de pruebas de funcionamiento de equipos.....	132
5.4 Ajuste de tiempos.....	135
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.1	Disposición Motor válvulas.....	3
Tabla 1.1.2	Capacidad de Silos.....	5
Tabla 1.1.3	Disposición de Compuertas.....	6
Tabla 1.3.1	Suministro de Energía.....	17
Tabla 2.1.3	Señales de Control.....	25
Tabla 2.1.4	Variabes I/O discretas.....	26
Tabla 2.1.5	Variabes I/O Enteras.....	27
Tabla 2.1.6	Descripción de Unidades.....	29
Tabla 2.1.7	Modelo OSI.....	39
Tabla 2.1.8	Modelo OSI para ISO Industrial Ethernet.....	44
Tabla 2.1.9	Características capa 1.....	44
Tabla 2.2.2	Características medidores de nivel sólidos.....	49
Tabla 2.2.3	Características medidores nivel silos.....	53
Tabla 2.2.4	Características medidores nivel tolvas.....	53
Tabla 2.2.5	Características detectores nivel balanzas.....	54
Tabla 2.2.6	Termocupla silos.....	59
Tabla 2.2.7	Instrumentos de seguridades.....	60
Tabla 2.2.8	Sensores de movimiento.....	60
Tabla 2.2.9	Sensores de presencia de grano.....	61
Tabla 2.2.10	Comparación sensores de temperatura.....	57
Tabla 2.3.1	Distribución de memoria.....	64
Tabla 2.3.3	Cálculo de memoria.....	65
Tabla 2.3.2	Distribución de señales.....	67
Tabla 2.4.1	Datos de placa motor 152.....	73
Tabla 2.4.2	Compuertas tipo I.....	74
Tabla 2.4.3	Compuertas tipo II.....	75
Tabla 2.5.1	Características breacker principal.....	80
Tabla 2.5.2	Barras de cobre.....	82
Tabla 2.5.3	Calculo área panel principal.....	84
Tabla 2.5.4	Calculo área sub-paneles.....	85
Tabla 3.1.4	Estructura dispositivos.....	104
Tabla 3.1.5	Tipos de dispositivos.....	107
Tabla 3.1.6	Byte estado dispositivo.....	110
Tabla 4.4.1	Resumen de costos.....	125
Tabla 4.4.2	Resultados VAN y TIR.....	127
Tabla 5.2	Calibración termocupla.....	132
Tabla 5.4	Ajuste de tiempos.....	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1	Filtro de Mangas.....	14
Figura 1.2.2	Mangas I.....	15
Figura 1.2.3	Mangas II.....	15
Figura 2.1.1	Diagrama en Bloques de Control.....	20
Figura 2.1.5.1	Recepción de materia prima (Unidad 1).....	30
Figura 2.1.5.2	Transporte de Malta (Unidad 8).....	32
Figura 2.1.5.3	Transporte de adjuntos (Unidad 9).....	34
Figura 2.1.5.4	Despacho de adjuntos (Unidad 2).....	36
Figura 2.1.6	Esquema de comunicaciones maestro volante.....	41
Figura 2.2	Transmisores.....	47
Figura 2.2.1	Medición de nivel capacitivo.....	51
Figura 2.3.1	Distribución de memoria.....	63
Figura 2.3.3	Enlaces administrativos.....	68
Figura 2.3.4	Enlaces industriales.....	69
Figura 2.4.1	Curva AC1.....	71
Figura 2.4.2	Curva AC2.....	72
Figura 2.4.3	Curva AC3.....	73
Figura 2.5.1	Curva del breacker.....	80
Figura 3.1.6	Bloque secuencial.....	113
Figura 3.2.3	Fase lógica.....	118
Figura 3.2.4	Diagrama estado fase lógica.....	120
Figura 5.1.1	Instalación de sensores capacitivos.....	129
Figura 5.1.2	Calibración de sensores capacitivos.....	130
Figura 5.2	Bloque de temperatura.....	131
Figura 5.3	Etapas pruebas de equipos.....	133

ABREVIATURAS

A	Área
AWL	Lista de Instrucciones (Anweisungsliste)
CPU	Unidad Central de Procesamiento (Central Process Unit)
CSMA/CD	Acceso Múltiple con Detección de Portadora y de Colisión.
DCS	Sistema de control distribuido (Distributed Control System)
DM	Modulo de Dispositivo (Device Modul)
DB	Base de Datos (Data Base)
DP	Periferia descentralizada
ERP	Sistema general de administración de recursos (Enterprise Resource Planning)
F	Fuerza
FC	Función de Control (Function Control)
HMI	Interfase Hombre Maquina (Human Machine Interface)

ISO	Organización Internacional de Normalización (International Standard Organization)
I/O	Entrada Y/O Salida
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
EPROM	PROM borrable
EEPROM	EPROM borrables electricamente
KW	Kilovatio
LLC	Control lógico de línea (Logic Line Control)
LAN	Área de red local (Local Area Network)
MAC	Control acceso medio (Control Access Medium)
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos (National Electrical Manufacturers association).
OB	Bloque de Organización (Organization Block)
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos (Opened System Interconnection)
P	Presión
PID	Proporcional, Integral, derivativo

PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Control)
PROM	Programable ROM
RTD	Resistencia dependiente de temperatura (Resistance Temperature Dependent)
RAM	Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory)
ROM	Memorias de lectura solamente (Read Only Memory)
TCP	Protocolo de Control de Transmisión (Transmission Control Protocol)
TI/O	Terminal de Entrada y salida
TIR	Tasa de Retorno de Inversión
VAC	Voltaje Alterno
VAN	Valor Actual Neto
VDC	Voltaje Directo

INTRODUCCION

El sistema de control actual basa su funcionamiento en la utilización de lógica de relés, contactores y cables de señales, todos ellos implementados en la instalación original de fábrica. El sistema de control existente no responde a todas las necesidades actuales y no permite la conectividad a nuevas tecnologías.

La realización de nuestro trabajo responde a los siguientes objetivos:

- Garantizar un proceso seguro y eficaz mediante un sistema de control óptimo.
- Garantizar la correcta limpieza y calidad física del grano durante su recepción, transporte y almacenaje, evitando pérdidas, mediante la implementación de nuevos equipos de monitoreo y control.
- Asegurar la correcta dosificación de materias primas y manejo de inventarios a través de la implementación de un sistema de manejo de lotes.

- Ajustarse a las nuevas necesidades de crecimiento a través del uso de una plataforma de control moderna.

La seguridad del sistema está basada en la implantación de verificaciones de operación y funcionamiento de los equipos mediante la utilización de bloqueos externos por conexiones y por software mediante utilización de un PLC principal con sus respectivos terminales para entradas / salidas conectados a través de una red industrial de campo.

Para garantizar la limpieza y consistencia del producto se utilizaran nuevos equipos de instrumentación que se conectaran a un PLC principal y en tres computadores para su monitoreo. Para el control en la dosificación de materias primas se ha considerado la implantación de recetas de proceso, mediante la utilización de un software de control de lotes a integrar en dos servidores (principal y redundante). La transferencia de información entre el PLC principal, los equipos de monitoreo y de manejo de lotes se realiza mediante una red industrial ethernet.

CAPITULO I

I. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

1.1 Manejo de Granos

El área de manejo de granos se encarga de recibir las materias primas, almacenarlas y distribuir las hacia el área de cocción para su posterior utilización. Las principales materias primas utilizadas en la elaboración de cervezas son las siguientes:

Adjuntos.- Los más comunes son los provenientes de sémola de maíz, jarabe y arroz partido este último el más utilizado en plantas cerveceras.

Malta.- Grano germinado y tostado, en la industria el más utilizado proveniente de cebada, materia prima principal en la industria cervecera. Existe una amplia gama de variedades las principales son:

- PRESTIGE

- GAIRDNER

- SCARLETT

- MECALFE
- HARRINGTON
- BONANZA, etc.¹

El transporte y manejo del grano se realiza con la ayuda de equipos distribuidos convenientemente entre siete niveles e interconectados entre si de acuerdo al ANEXO 1.1, a continuación se realiza una breve descripción de su funcionamiento.

1.1.1 Recepción de materias primas

Como se muestra en el ANEXO 1.1 los equipos que conforman el bloque de recepción son los siguientes:

Tolva de Recepción.- Tiene una capacidad de 20 TN, se encarga de almacenar temporalmente malta o adjuntos provenientes del puerto.

Tolva de Malta (67).- Esta ubicada en el área de Malteria, tiene una capacidad de 26 TN y se encarga del suministro de Malta para su almacenaje.

¹ Cada variedad de malta depende del tipo de cebada y el proceso utilizado en su transformación.

Compuertas de Selección (154 y 155).- Son accionadas por motores con inversión de giro y se encargan de la selección de la ruta de suministro de materia prima de acuerdo al siguiente detalle:

RECEPCION	Motor válvula 154	Motor válvula 155
Ruta tolva de recepción	Derecha	Derecha
Ruta Camiones.	Izquierda	Derecha
Tolva de Malta (malteria)	Derecha	Izquierda

Tabla 1.1.1 Disposición Motor válvulas.

Sistema de Succión de Grano.- Lo componen: un filtro de mangas (153), un compresor de lóbulos (152), una válvula de vacío (151) y una esclusa de salida (156).

Balanza de Recepción (156).- Su capacidad es de 24 Tn / h, su funcionamiento es netamente mecánico, por cada 100 Kg pesados envía un pulso de 24 VDC a través de un micro interruptor.

Transportador (158).- Se encuentra instalado en el séptimo nivel sobre los nueve silos y se encarga del envío del material para su almacenaje.

Compuertas de ingreso (160 a 168).- Su trabajo es la selección del silo de almacenaje, su accionamiento es neumático y tienen una confirmación para su apertura y cierre.

El material proveniente de cualquiera de las tres rutas antes mencionadas es succionado por el compresor 152 hasta el séptimo nivel a través del filtro de mangas 153, el grano es precipitado hacia la exclusiva 156 encargada de dosificar hacia el transportador tipo cadena 158 para su posterior almacenaje en el silo seleccionado.

1.1.2 Almacenaje

Para el almacenamiento de granos se han dispuesto nueve silos de hormigón armado y un silo metálico sus capacidades son las siguientes:

	Capacidad (TN)	Utilización
Silo 1	50	Malta
Silo 2	100	Adjunto
Silo 3	50	Malta
Silo 4	100	Adjunto
Silo 5	100	Malta
Silo 6	100	Malta o Adjunto
Silo 7	100	Malta o Adjunto
Silo 8	100	Malta o Adjunto
Silo 9	100	Malta o Adjunto
Silo Metálico	900	Adjunto

Tabla 1.1.2 Capacidad de Silos

Los silos 6, 7, 8 y 9 pueden utilizarse tanto para Malta o Adjuntos, cada silo dispone de una compuerta de ingreso y una ruta de salida de material de acuerdo al siguiente detalle.

	Ruta de Ingreso	Ruta de Salida
Silo 1	Compuerta 160	Compuerta 171
Silo 2	Compuerta 161	Compuerta 201
Silo 3	Compuerta 162	Compuerta 172
Silo 4	Compuerta 166	Compuerta 202
Silo 5	Compuerta 163	Compuerta 173
Silo 6 Adjunto	Compuerta 167	Compuerta 174 Compuerta 178 Izq.
Silo 6 Malta		Compuerta 174 Compuerta 178 Der. Motor 182
Silo 7 Adjunto	Compuerta 164	Compuerta 175 Compuerta 179 Der.
Silo 7 Malta		Compuerta 175 Compuerta 179 Izq. Motor 182 Compuerta 182
Silo 8 Adjunto	Compuerta 168	Compuerta 176

		Compuerta 180 Izq.
Silo 8 Malta		Compuerta 176 Compuerta 180 Der. Motor 184
Silo 9 Adjunto	Compuerta 165	Compuerta 177 Compuerta 181 Izq. Motor 184 Compuerta 185
Silo 9 Malta		Compuerta 177
Silo Metálico	Transportador 148	

Tabla 1.1.3 Disposición de Compuertas

La ruta de salida correspondiente para malta se deposita en el transportador 186, mientras que la correspondiente a adjuntos en el transportador 203.

1.1.3 Despacho de Malta

Como se muestra en el ANEXO 1.1 los equipos que conforman el despacho de Malta son los siguientes:

Transportador (186).- Se encuentra instalado en el primer nivel, bajo silos y se encarga del envío del material para su posterior despacho.

Elevador (187).- Recoge el grano en el primer nivel y lo eleva hasta el séptimo nivel para su descarga en la Zaranda (89) o de regreso a los silos a través de la compuerta 158.

Zaranda (189).- Esta ubicada en el sexto nivel y se encarga de la limpieza de la malta por diferencia de tamaño, para lo cual ha dispuesto de un motor encargado del movimiento circular.

Balanza de Despacho (190).- El producto al granel es pesado en línea con la ayuda de esta balanza, su operación la realiza con el uso de celdas de carga, el control de dosificación de material lo hace a través de un microprocesador con comunicación Profibus DP para el envío / recepción de información.

Tolva de uso diario de Malta (191).- Se encuentra ubicada entre el quinto y tercer nivel, se encarga del almacenamiento temporal de la malta para su posterior molienda.

Adicionalmente es necesaria la integración de los siguientes transportadores, todos con una capacidad de 20 Tn / h:

Transportadores (212, 213 y 272).- Despachan la malta desde la tolva de uso diario (tolva 191) hacia el molino de malta en el salón de cocción, tienen una capacidad de 40 Tn / h.

1.1.4 Molienda de Adjuntos

Para la molienda de adjuntos están dispuestos los siguientes equipos:

Transportadores (203).- Recoge el adjunto del silo seleccionado en el primer piso y lo deposita en el elevador.

Elevador (204).- El grano proveniente de los silos es elevado desde el primer nivel hasta el séptimo nivel con la ayuda de este transportador, para depositarlo en la balanza de despacho de Adjuntos.

Balanza (206).- Para la dosificación de Adjuntos se ha dispuesto de una balanza electrónica de similares características a la utilizada en la dosificación de Malta.

Tolva de uso diario de Adjuntos (207).- Se encuentra ubicada entre el sexto y tercer nivel, se encarga del almacenamiento temporal de Adjuntos para su posterior molienda.

Transportador (260).- Recoge el adjunto desde la tolva de uso diario para depositarla en el molino de Adjuntos.

Molino de Adjuntos (261).- Esta conformado de martillos accionados por un motor principal con dos sentidos de giro evitando así un desgaste no uniforme de sus partes móviles, además consta de una exclusiva dosificadora a su entrada y salida.

La selección del modo de funcionamiento del molino se efectúa por medio de un selector: local y remoto. En modo remoto (a distancia) es accionado por señales digitales, con sus respectivas seguridades y confirmaciones respectivas.

Tolva de Despacho de Adjunto Molido (263).- Se encarga de almacenar temporalmente el adjunto molido para su posterior utilización en la sala de cocción.

Dependiendo del silo seleccionado el adjunto es evacuado a través del transportador 203 en el primer nivel, y llevado hasta el

séptimo por medio del elevador 204, la ruta de envío se selecciona por la compuerta 205 (derecha = > retorno a silos / izquierda molienda). En el envío a la molienda se deposita en la tolva de uso diario (207) de acuerdo a la balanza dosificadora 206. Una vez alcanzado el 15 % del material despachado se habilita el molino de martillos 262 iniciando el proceso de molienda que termina una vez alcanzada la cantidad fijada.

1.1.5 Despacho de Adjuntos

Para el despacho de Adjunto molido se han dispuesto tres nuevos transportadores (265, 267 y 268) y un elevador (266), como se muestra en el ANEXO 1.1 estos equipos tienen una capacidad de 44 Tn / h.

Con la tolva de uso diario 263 llena con grano molido, se habilitan los transportadores y elevador ya mencionados secuencialmente previa solicitud del área de cocción.

1.2 Captación y despacho de Polvo

1.2.1 Detalle de equipos de captación de polvo y limpieza de grano

Durante el transporte de Malta y Adjuntos existe desprendimiento de polvo y cascarilla, para la separación de este subproducto de la materia prima se han dispuesto dos ciclones de polvo, la descripción de sus partes principales se listan a continuación:

- i. Soplador (241 / 271)
- ii. Mangas de polvo (242 / 270)
- iii. Exclusa de Salida (243 / 269)

Mangas de polvo (242 / 270).- Se utilizan para separar partículas de polvo contenidas en mezclas de gas-polvo.

Exclusa de Salida (243 / 269).- La descarga de material requiere mantener un flujo constante, por este motivo se utilizan exclusas con velocidades de 4 Tn y 6 Tn respectivamente.

1.2.2 Descripción de funcionamiento

A través de todos los transportadores de malta y adjunto existe montada una red de tuberías de succión de polvo (transportadores, elevadores, etc). La mezcla de gas polvo extraído es conducido hacia uno de los ciclones de polvo, en la figura 1.2.2 se ilustran los recorridos del gas-polvo a través del filtro de mangas:

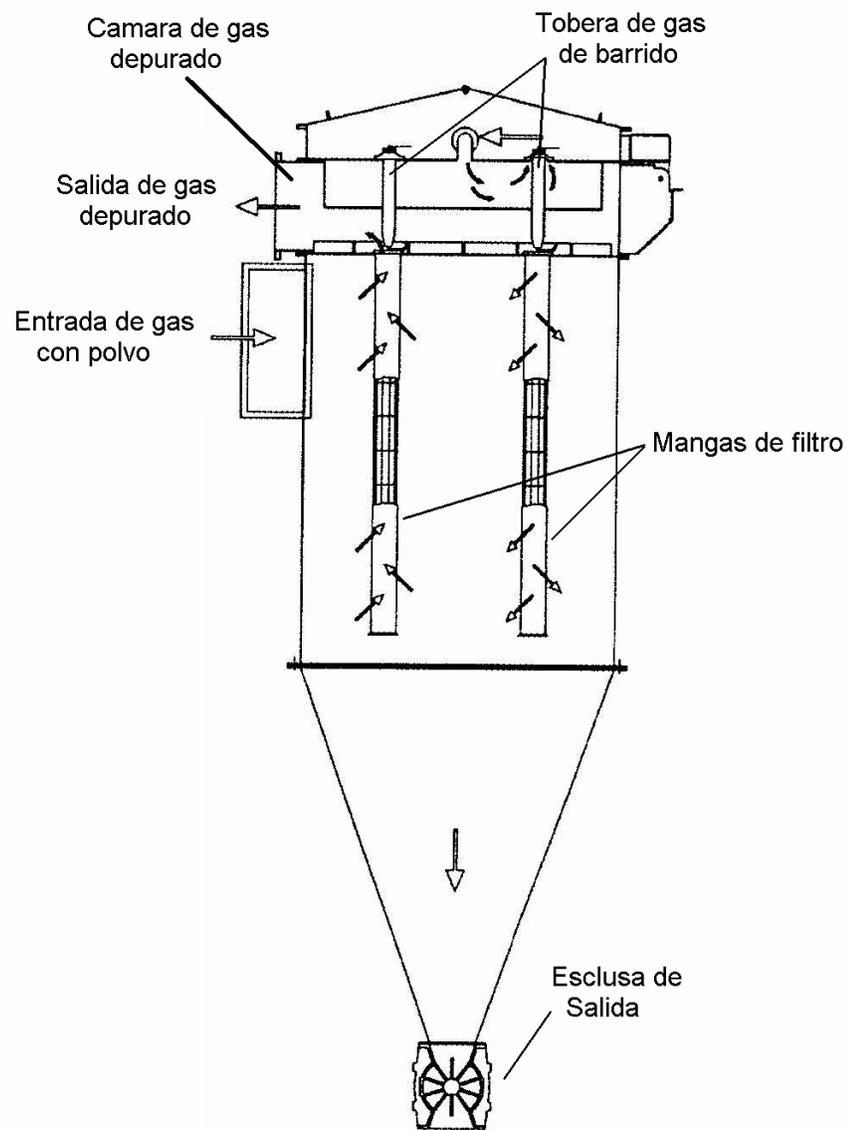


Figura 1.2.1 Filtro de Mangas

El gas contenido de polvo penetra en la cámara de gas con polvo por las mangas del filtro. (Figura 1.2.2). Las partículas de polvo

se depositan sobre la superficie de la manga y el gas depurado escapa en dirección axial a través de las mangas.

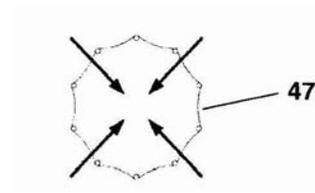


Figura 1.2.2 Mangas I

La limpieza de las mangas del filtro (figura 1.2.3) se efectúa por un contragolpe de aire de barrido (0.4 a 0.5 bar) la manga del filtro se infla repentinamente y la capa de polvo filtrada que se encuentra adherida al lado exterior se abre y expulsa provocando que el polvo caiga hacia el cono.

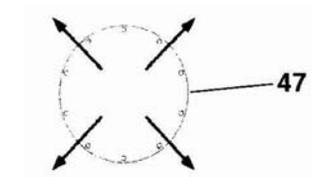


Figura 1.2.3 Mangas II

El polvo acumulado en el cono es evacuado por medio de la esclusa de salida para depositarlo en la tolva de despacho de polvo

El detalle de potencias de todos los motores mencionados se muestra en el ANEXO 1.3.

1.3 Equipos y suministros

1.3.1 Distribución de equipos

Todos los equipos de manejo de granos transportadores, elevadores, tolvas, silos, zaranda, etc han sido distribuidos entre siete niveles de hormigón armado, su ubicación se detalla en el ANEXO 1.4

1.3.2 Aire comprimido

Para el accionamiento de compuertas y válvulas se dispone de aire comprimido a una presión de 60 psi, en el ANEXO 1.5 se muestra la distribución de acometidas, lubricadores, electro válvulas y demás equipos neumáticos.

1.3.3 Energía eléctrica

El suministro de energía eléctrica para los paneles de fuerza y control esta distribuido de acuerdo al siguiente detalle:

Dispositivos	Alimentación
Motores	440 Vac 60 Hz
Elementos de control y equipos de cómputo.	24 VDC o 110 Vac 60 Hz

Tabla 1.3.1 Suministro de Energía

Se ha dispuesto de un UPS de 15 KVA para la obtención de voltaje regulado, En el ANEXO 1.6 se muestra la distribución de cargas para esta área.

CAPITULO II

II. DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE CONTROL

A partir de la aparición del transistor (1947) el mundo de la electrónica vivió un importante cambio que impactó positivamente en el desarrollo de la medición y control automático.

Se introdujeron los transmisores y controladores electrónicos que resolvieron ciertas limitaciones de los instrumentos neumáticos y agregaron la posibilidad de realizar estrategias de control más complejas en forma relativamente más económica.

Poco a poco la instrumentación electrónica fue ganando espacios frente a la neumática, especialmente en las ampliaciones, nuevos proyectos y casos de control complejo. Es así que a finales de la década de los sesenta aparece el primer Controlador Lógico Programable.

Con la aparición del PLC y las redes de comunicación se eliminan varios problemas como la gran cantidad de cableado, la baja flexibilidad de los circuitos eléctricos y eliminación de tiempos por paradas, pero aparecen nuevas necesidades como la obtención de inventarios de producción,

generación de programas de producción que obligan a la introducción de sistemas de cómputo en la industria. Es así que en la actualidad es difícil pensar en un sistema automático sin la intervención de equipos de cómputo.

El estudio de este capítulo se enfoca en el diseño, dimensionamiento y selección de los equipos de control necesarios para un sistema completamente automático.

2.1 Consideraciones preliminares de diseño

En la primera parte de este capítulo se estudiarán las principales condiciones a tomar en cuenta en la selección de equipos (compatibilidad, funcionamiento, cantidad de variables de proceso, etc).

Una vez definidas las condiciones de trabajo, el estudio se enfocará en la selección de todos los equipos de control requeridos para la implementación (instrumentos, controlador, software, otros).

En la siguiente figura se muestra un diagrama en bloques del proceso en la que se resaltan los equipos materia de estudio de este capítulo.

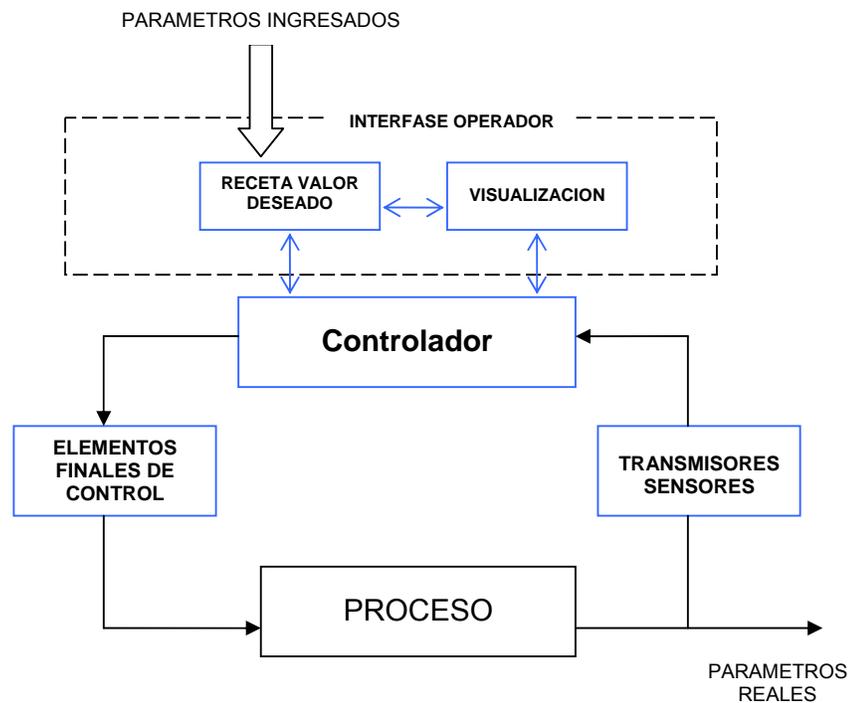


Figura 2.1.1 Diagrama en Bloques de Control

2.1.1 Requerimientos de producción

A continuación detallamos los principales requerimientos de producción:

- **Implementación de seguridades de manejo y operación de equipos, transportadores, motores.-** Para esto se considerara en el diseño la adquisición e implementación de instrumentos de seguridad como sensores de movimiento, atascamiento, presencia de grano, etc. Además de la programación de bloqueos en la operación de equipos asegurando mínimas pérdidas de grano durante su transportación.

- **Garantizar limpieza y calidad física del grano.-** Es necesaria una reestructuración de las rutas de limpieza y transporte, eliminando o creando tiempos de funcionamiento de equipos. Se incluirá un nuevo equipo de limpieza y nuevas rutas de despacho de granos. En el ANEXO 1.1 se muestran los nuevos equipos de limpieza, nuevas rutas de transporte, así como su distribución.

- **Asegurar la correcta dosificación de materias primas.-** En la elaboración de las diferentes variedades de cerveza es necesaria una correcta dosificación de materias primas, esta es una de las razones principales por las cuales

consideramos en nuestro diseño la implementación de un software de manejo de lotes de producción.

Este software deberá tener las siguientes características:

- ✓ Flexibilidad en la modificación de parámetros y estructura de proceso.
- ✓ Compatibilidad con sistema de supervisión y PLC de control.
- ✓ Almacenamiento de actividades y parámetros, a fin de obtener un registro de decisiones operativas.
- ✓ Fácil manejo y operación.

2.1.2 Inventario de señales de campo.

Una de las principales herramientas para la selección y el dimensionamiento de equipos lo constituye una correcta identificación y distribución de señales de campo. En el ANEXO 1.2 se muestra la distribución de señales de campo realizada:

- ✓ Entradas Discretas.
- ✓ Salidas Discretas.

- ✓ Entradas Análogas.

Adicionalmente hemos considerado necesaria la creación de un registro de instrumentos de medición a fin de facilitar su posterior selección. En el ANEXO 1.7 se muestran las condiciones de trabajo requeridas.

2.1.3 Compatibilidad con nuevos equipos de control.

De acuerdo a las nuevas tendencias de la planta de producción han de considerarse en el diseño la compatibilidad de los equipos existentes con los nuevos equipos de control, a continuación se detallan los más importantes:

- ✓ **Buses de comunicación.**- De acuerdo a las especificaciones revisadas en el área se mantienen los siguientes estándares de comunicación :
 - Bus de campo: se incluirá un bus industrial RS-485 de acceso a terminales remotos para la adquisición de señales, los buses

estándares utilizados para nuestro caso son:

Modbus plus y Profibus DP.

- Bus de datos Industrial: A nivel de manejo de información de datos de visualización y control de lotes se considerara un protocolo basado en Industrial Ethernet 10/100, son utilizados actualmente en la planta: Modbus TCP/IP y CP H1 1 ISO Industrial Ethernet.
 - Bus de datos administrativo: Ethernet TCP/IP.
- ✓ **Visualización y manejo de recetas.**- Para el monitoreo general del proceso se estandarizara un software con conectividad al protocolo del bus de campo utilizado, preferiblemente del mismo fabricante. Mientras que el manejo de lotes es prioritaria la flexibilidad de modificación de recetas y el cumplimiento de estándares internacionales S88.01 y S95, además de fácil integración con el software de monitoreo.

- ✓ **Señales de control.**- Para la operación de equipos y manejo de señales de control se han estandarizado los siguientes tipos de señales:

Tipo de señal	Tipo
Entradas Discretas	24 Vdc.
Salidas Discretas	A contactos libres de potencial por medio de relé de interfase.
Entradas Análogas	4 a 20 mA. dos hilos
Salidas Análogas	4 a 20 mA dos hilos

Tabla 2.1.3 Señales de Control

2.1.4 Dimensionamiento de variables de visualización

El nuevo sistema será capaz de aceptar la visualización de variables acorde a la cantidad de equipos instalados, a continuación se detalla una clasificación de variables de monitoreo de acuerdo a su tipo y función:

- ✓ **Dispositivos de Mando.**- se ha considerado la utilización de como máximo 256 accionamientos (motores, ventiladores, válvulas, etc). Cada dispositivo requiere la utilización de 23 variables para su visualización y configuración:

- Variables I/O Discretas.- Nueve bits visualizan el estado de cada dispositivo, cada uno de ellos se detalla a continuación:

No.	DESIGNACIÓN	TIPO	COMENTARIO
1	DM_boQL	BOOL	Visualización estado de salida PLC
2	DM_boBSP	BOOL	Señal de arranque / paro dispositivo
3	DM_boQSP	BOOL	Visualización de Falla de dispositivo.
4	DM_boBV	BOOL	Visualización dispositivo bloqueado
5	DM_boBA	BOOL	Visualización dispositivo encendido en automático.
6	DM_boRE	BOOL	Visualización confirmación encendido.
7	DM_boRA	BOOL	Visualización confirmación apagado.
8	DM_boHD	BOOL	Visualización dispositivo en manual / automático.
9	DM_boInvQL	BOOL	Activación salida con negación.

Tabla 2.1.4 Variables I/O discretas

- Variables I/O Enteras.- Catorce palabras dobles se encargan para la configuración del tipo y modo de cada dispositivo:

No.	DESIGNACIÓN	TIPO	COMENTARIO
1	DM_bySetpOffDelay	INT	Tiempo nominal de encendido de dispositivo
2	DM_bySetpOnDelay	INT	Tiempo nominal de apagado de dispositivo
3	DM_byStatus	INT	Estatus de dispositivo.
4	DM_byType	INT	Configuración de tipo de dispositivo
5	DM_iByte_QL	INT	Dirección de salida de periferia, primer dígito.
6	DM_iBit_QL	INT	Dirección de salida de periferia, segundo dígito.
7	DM_iByte_RE	INT	Dirección de confirmación de activación, p. dígito
8	DM_iBit_RE	INT	Dirección de confirmación de activación, s. dígito
9	DM_iByte_RA	INT	Dirección de confirmación de desactivación, p. dígito
10	DM_iBit_RA	INT	Dirección de confirmación de desactivación, s. dígito
11	DM_iHZUO	INT	Asignación de grupo manual.
12	DM_iSpMonTime	INT	Valor nominal tiempo de control
13	DM_iMonTime	INT	Valor real tiempo de control
14	DM_iUnitNo	INT	Asignación de unidad (Unit)

Tabla 2.1.5 Variables I/O Enteras

- ✓ **Dispositivos de Seguridad.**- Se ha contemplado la implementación de 95 dispositivos de seguridad (sensores de presencia de grano, micros, sensores de movimiento, nivel y otros).

En resumen la cantidad total de variables de visualización se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Total variables visualización} &= \Sigma \text{ Dispositivos de Mando discretos} \\
 &+ \Sigma \text{ Dispositivos de mando enteros} \\
 &+ \Sigma \text{ Dispositivos de seguridad.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total variables visualización} &= (9 \times 256) + (14 \times 256) + 95 \\ &= 5.983 \text{ variables requeridas.}\end{aligned}$$

2.1.5 Dimensionamiento de unidades de proceso.

Definición de Unidad de Proceso.- Una unidad es un grupo de equipos de proceso que cumple las siguientes funciones:

1. Procesar materiales; ejemplos son: reacciones producidas en: reactores, mezcladores.
2. La unidad puede mantener materiales; ejemplos son: estaciones de dosificación manual, tanques de almacenamiento, contenedores, y estaciones de llenado.

Cada unidad tiene un único atributo, como su capacidad o material de almacenamiento, la cual define su capacidad de procesamiento o sus limitaciones.

De acuerdo a esta definición para nuestro caso hemos definido convenientemente las siguientes unidades de proceso:

Numero-Unidad	Nomónico	Descripción
U1	RecMalta	Recepción Materia Prima
U2	Despa	Despacho Adjuntos
U8	TrpMalta	Transporte de malta
U9	TrspAdj	Transporte de adjuntos

Tabla 2.1.6 Descripción de Unidades

Recepción de materia prima (Unidad 1).- Para nuestra primera unidad se ha considerado la fuente de material (adjunto o malta) las tolvas de recepción o el camión, como destino se consideró cualquiera de los diez silos mostrados en la siguiente figura.

Transporte de Malta (Unidad 8).- Como se muestra en la siguiente figura, consideramos la fuente de material cualquiera de los silos seleccionados de Malta y como destino la tolva de malta ubicada sobre el molino, para su posterior utilización.

Transporte de adjuntos (Unidad 9).- Considera como fuente cualquiera de los silos seleccionados como adjunto y su destino la tolva de despacho de adjunto molido (263).

Despacho de adjuntos (Unidad 2).- Utiliza los adjuntos molidos de la tolva (263) y entrega el material en la sala de cocción sincronizado el momento adecuado para su utilización.

Como observamos se requiere la utilización de mínimo cuatro unidades de procesamiento dentro de las cuales se consideraran fases de acuerdo a sus necesidades, estas se detallaran en los capítulos siguientes.

2.1.6 Arquitectura de control

En la industria, el uso de computadoras digitales aplicadas al control automático evolucionó desde un único computador supervisando algunos controladores analógicos, a complejos sistemas que interrelacionan múltiples procesadores. Estos procesadores comprenden controladores PID mono y multilazo, estaciones de operación, PLC's, transmisores inteligentes, cromatógrafos, sistemas de inventario de nivel de tanques, etc. integrados en una o varias redes de datos en tiempo real, también denominadas redes industriales de control de procesos.

Por otra parte, las plantas industriales cuentan en muchos casos con sistemas de computadoras a fin de satisfacer sus necesidades administrativas y gerenciales. Llamaremos red administrativa a este sistema. Aparece como evidente que la

integración de ambas facilitaría la administración de todo el sistema, como la compra de materias primas, el proceso de producción, la venta de productos, etc.

Surgen entonces dos áreas para la implementación de redes en las que participan los equipos digitales de control de procesos:

1) Integración de equipos de control de procesos:

Al iniciar el estudio de redes de comunicación industrial y gerencial se hace necesario conocer los fundamentos que la normalizan, es así que describimos a continuación el modelo OSI/OSI y la función de cada una de sus capas enfocadas al entorno industrial:

Modelo ISO/OSI².- La necesidad de comunicar entre si una variedad de equipos fue reconocida por los proveedores, que ofrecían soluciones integrales pero propietarias, es así que la **Organización Internacional de Normalización (ISO)** vio conveniente dividir los aspectos relacionados con comunicaciones en 7 capas, cada una con una función

² Según referencia: Sistemas Digitales de Control de Procesos, Sergio Szklanny.

definida. Este modelo desarrollado por ISO es conocido como **Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI)**.

A continuación se realiza una breve descripción de cada una de las siete capas:

7	Aplicación		Provee servicios a usuarios finales, como la transferencia de archivos y correo electrónico.
6	Presentación		Efectúa conversiones de sintaxis y encriptado / desencriptado (códigos ASCII)
5	Sesión		Coordina los servicios entre procesos que corren en distintas estaciones.
4	Transporte		Divide la información en paquetes, asegura su correcta recepción y ordenamiento
3	Red		Maneja el ruteo de paquetes en la red (p.ejem.: Internet Protocol)
2	Enlace	LLC (control lógico de línea)	Establece métodos para la correcta transmisión y recepción de tramas. Determina el método de control de acceso al medio (p.ejem.:maestro/esclavo, token CSMA/CD Control de acceso múltiple con detección de portadora y colisión).
		MAC (control acceso medio)	
1	Físico		Define las características mecánicas, eléctricas y funcionales para la transmisión de bits

Tabla 2.1.7 Modelo OSI

Para obtener una compatibilidad total con todos los equipos de control hemos considerado conveniente la utilización del mismo estándar de comunicación utilizado en la planta de cocción motivo por el cual utilizaremos el protocolo Profibus DP para dispositivos de campo e ISO industrial ethernet para transmisión de datos.

Profibus DP³.- Es una norma alemana para fieldbus (bus de campo), la definición de Profibus se basa esencialmente en la tecnología disponible: RS-485 para el nivel 1, IEC 955 (field bus data) para el nivel 2, y un conjunto de MMS para el nivel 7. El protocolo IEC 955 especifica el modelo de control de acceso al medio denominado maestro volante (flying master), que es una combinación de los métodos de control de accesos al medio token bus y maestro esclavo.

En este modelo, algunas estaciones son definidas como maestras, y otras como esclavas. Las estaciones maestras acceden al bus por medio de un esquema token bus. Mientras una estación maestra posee el testigo, realiza transacciones con sus esclavos según el esquema maestro esclavo. Luego,

³ Según referencia: Decentralization with PROFIBUS DP/DPV1

envía el testigo a la siguiente estación del anillo lógico, como se ilustra en la siguiente figura:

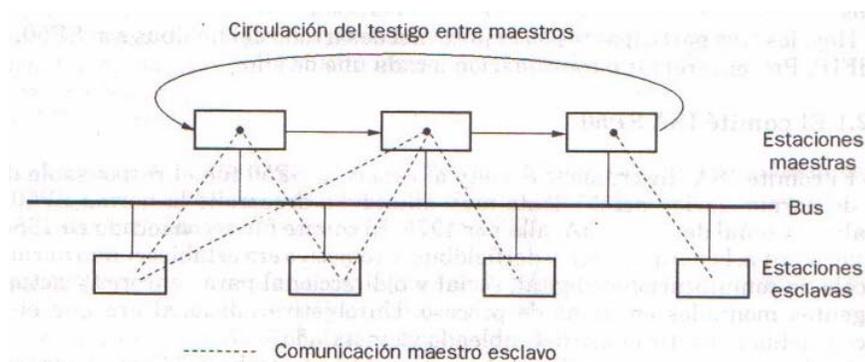


Figura 2.1.6 Esquema de comunicaciones maestro volante (Flying master)

Debido a la gran densidad de señales mostradas en el ANEXO 1.2 en el segundo y sexto nivel se considero la distribución de terminales remotos, además de la necesidad de integrar dos balanzas electrónicas para el control de dosificación de materias primas.

Para la transferencia de datos entre el PLC principal de la sala de cocción con nuestro nuevo PLC de control, la adquisición de datos para el monitoreo y control de recetas se

considero la utilización de ISO Industrial ethernet, sus características se detalla a continuación:

Industrial Ethernet⁴.- Industrial Ethernet es una poderosa red de comunicaciones que cumple con el estándar internacional IEEE 802.3 (Ethernet) y ha sido desarrollada para los requerimientos del entorno industrial.

Sus principales beneficios son los siguientes:

- Enlaza fácilmente diferentes áreas de aplicación como administrativa y de planta.
- Diseño robusto e inmunidad a interferencias electromagnéticas.
- Alta velocidad de funcionamiento con gran cantidad de nodos.
- Varios medios de transmisión (fibra óptica, par trenzado, etc).
- Gran variedad de topologías redundantes.
- Fácil crecimiento con tecnología de switcheo.

⁴ Según referencia: Industrial Ethernet by Perry S.Marshall y John S. Rinaldi

Acceso Múltiple con Detección de Portadora y de Colisión (CSMA/CD).- Este método de acceso al bus utilizado por industrial ethernet se caracteriza por permitir que la estación que lo requiera acceda de inmediato a la red, si es que está libre. Como contrapartida, no se puede asegurar un tiempo máximo dentro del cual una estación accede al medio físico. Por tal motivo se dice que este método de acceso a la red es **no determinístico**. El procedimiento de control de acceso a la red se realiza de la siguiente manera:

1. Si el medio esta libre inicia la transmisión.
2. Si esta ocupado, espera hasta que se libere.
3. Si durante la transmisión detecta una colisión (alguien mas empezó a transmitir), envía una señal de refuerzo de colisión (jamming), para asegurar que todas las estaciones detecten la colisión.
4. Luego espera un tiempo aleatorio, para reintentar la transmisión. En caso de que sucedan las colisiones, la transmisión concluye por un error de colisiones.

Capa	Método utilizado
7	Step 7
6	
5	
4	ISO 8073 Transporte
3	Red
2	CSMA/CD (IEEE 802.3)
1	Características físicas del bus, conectores RJ45,etc

Tabla 2.1.8 Modelo OSI para ISO Industrial Ethernet⁵

Características capa 1:

Máximo numero de nodos	Máximo 1024 por segmento de red
Velocidad de transmisión	10 Mbps autoreconocimiento
Tamaño de la red	máximo 1.5 km
Topología de Bus	Estrella
Medio de transmisión	10 base T, Cable UTP trenzado conectores RJ 45

Tabla 2.1.9 Características capa 1

⁵ Mas detalles manual: Simatic Net Industrial Communication with PG/PC (Siemens), pag.: 39.

En el anexo 2.1 se muestra la arquitectura de control diseñada para nuestra aplicación, la red Profibus DP utiliza una topología clásica tipo bus entre los terminales de campo, balanzas (esclavos) y PLC principal (maestro). Este último integra una tarjeta de comunicación ethernet que soporta el protocolo ISO Industrial Ethernet, e-mail y Web Server.

El PLC principal se integra a la red de la sala de cocción, servidores de batch, terminales de monitoreo e ingeniería a través de un switch de control utilizando una topología tipo estrella, los enlaces utilizados se detallan en capítulos siguientes.

2) Integración de equipos en la red administrativa:

Con las definiciones hasta ahora detalladas encontramos dos redes principales: la primera de campo, la segunda de transferencia de datos entre equipos de monitoreo y control.

Por último existe la necesidad de interconectar los equipos de cómputo entre si a fin de facilitar el respaldo de las bases de

datos de recetas, envío del detalles de recetas y la utilización de clientes para el manejo de lotes.

Para esto hemos considerado en cada equipo de computo el uso de cómo mínimo dos tarjetas de red 10/100 utilizando el protocolo estándar TCP/IP, formando así dos redes en cada equipo. La primera la red Industrial (PLC NW) y la segunda la administrativa (BAVARIA), no detallaremos este ultimo debido a que constituye otro tema de estudio.

Una vez definidas todas las condiciones finalmente presentamos en el ANEXO 2.1 la arquitectura de control de todo el sistema. Las configuraciones, enlaces, OPC's, drivers, etc, se detallan en el siguiente capitulo.

2.2 Selección de instrumentación

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos. En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes tales como: presión, nivel, temperatura, peso, etc. Los

instrumentos de medición permiten el mantenimiento y regulación de estas constantes en condiciones más idóneas.

En esta sección enfatizaremos el estudio en la selección de instrumentos de medición de nivel, temperatura y las seguridades necesarias para el normal funcionamiento de los equipos de proceso, en la siguiente figura se muestra la etapa en mención.

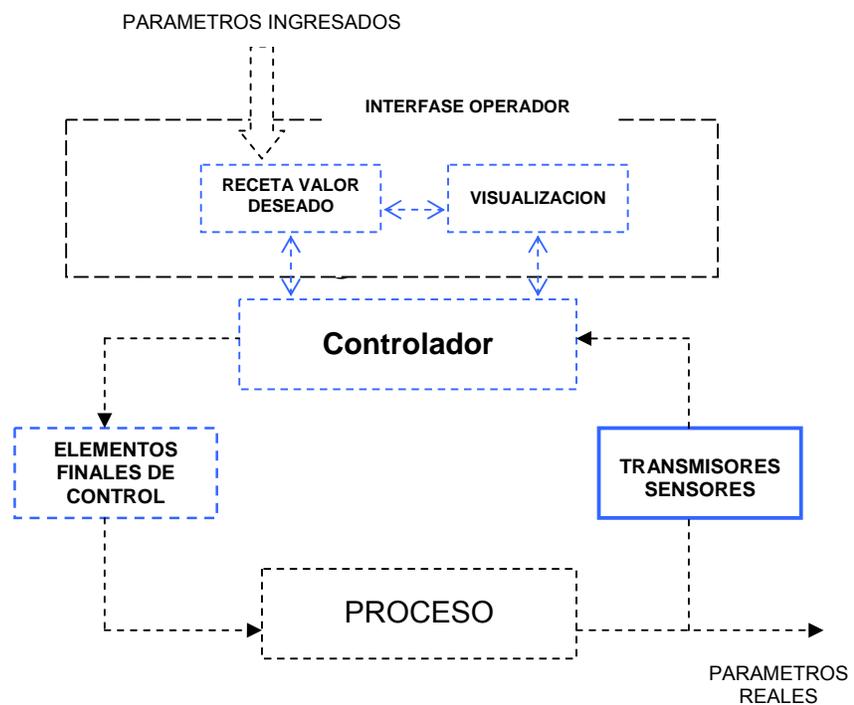


Figura 2.2 Transmisores

2.2.1 Selección de sensores de nivel

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de líquidos y sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas, en nuestra aplicación se requiere únicamente la medición de nivel en sólidos.

En la siguiente tabla se muestra una variedad de medidores de nivel para sólidos con sus principales características:

TIPO	Puntual		Continuo	Precisión en % de toda escala	Temp Máx. °C	Tanques		Desventajas	Ventajas
	Alto	Bajo				Abiertos	Cerrados		
Diafragma	Si	No	No	50 mm	60	Si	Si	No admite materiales granulares > 80 mm tanques a baja presión	Bajo coste, sensible a materiales de variada densidad.
Cono Suspendido	Si	Si	No	50mm	60	Si	No	Debe estar protegido	Baja coste
Varilla flexible	Si	No	No	25mm	300	Si	No	Relé retardado	Muy sensible
Conductivo	Si	Si	No	25mm	300	Si	Si	Conductividad materiales	tanques a presión
Paletas rotativas	Si	Si	No	25mm	60	Si	No	Tanques abiertas o a baja presión	Materiales diversos o a prueba de explosión
Sondeo electromecánico	-	-	Si	1%	60	Si	No	Resistencia mecánica media	Sencillo
Bascula	-	-	Si	+/-0,5-1%	900	Si	Si	Coste elevado	Preciso y seguro, altas presión y temperaturas
Capacitivo	Si	Si	Si	15mm	150	Si	Si	Materiales aislantes, calibración individual, adherencias producto	Bajo coste
Presión diferencial	-	-	Si	-	300	Si	Si	Coste medio, probable obturación orificio purga	Respuesta rápida
Ultrasonidos	Si	Si	Si	+/-0,5-1	150	Si	Si	Coste medio	Materiales opacos y transparentes, a prueba de explosión
Radar	Si	Si	Si	+/-2mm	150	Si	Si	Costos medio	productos viscosos
Radiación	--	--	Si	+/-0,5-1	1.300	Si	Si	Coste elevado supervisa seguridad, calda individual varias fuentes	Tanque sin aberturas, productos corrosivos y peligrosos, altas presiones y temperatura

Tabla 2.2.2 Características medidores de nivel sólidos ⁶

⁶ Según libro: Instrumentación Industrial, de Antonio Creus, pag: 222

Las tolvas y silos en nuestra aplicación utilizan hormigón armado como material de construcción, en su mayoría superan los 18 mts. de altura y se encuentran generalmente cerrados, bajo esta premisa en el cuadro resumen podemos descartar los siguientes principios:

- Diafragma
- Varilla Flexible
- Cono suspendido y
- Paletas rotativas

El sistema conductivo tiene como restricción la longitud de la varilla a introducir en el recipiente, generalmente no sobrepasa los 4 mts por lo cual también quedaría descartada.

En el cuadro resumen podemos notar que los sensores de tipo capacitivo se ajustan a nuestras necesidades de trabajo por su flexibilidad de operación, la detección de nivel puntual y su costo razonable. A diferencia del uso de medidores del tipo ultrasónico o radar que presentan mayor costo obviamente con un incremento de precisión en la medición.

La medición de nivel tipo capacitiva basa su operación en la variación de la capacitancia entre el aire y la sustancia a medir (granos en nuestro caso). El capacitor se forma entre la pared del recipiente y la sonda introducida como se muestra en la figura:

2.2.1. Los factores que determina su magnitud son los siguientes:

- Distancia entre la pared y la sonda
- Área de los electrodos (sonda y pared)
- Constante dieléctrica del material entre los electrodos (grano-pared).

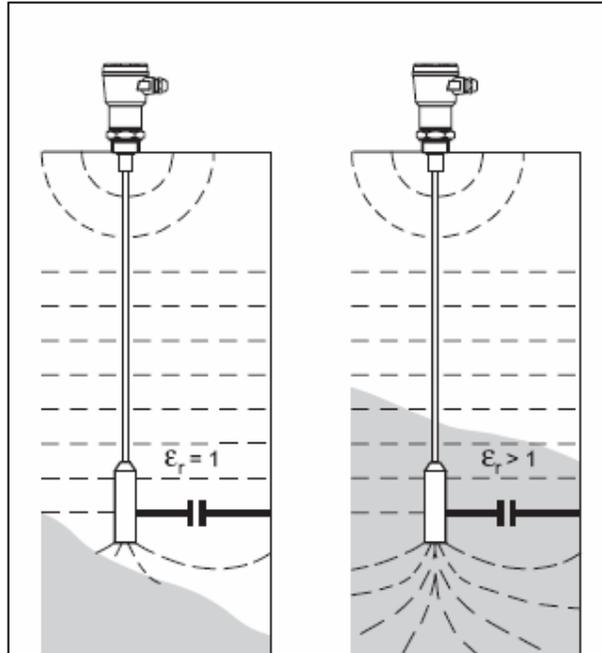


Figura 2.2.1.- Medición de nivel capacitivo

Al introducir la sonda en el recipiente estamos fijando la distancia entre los electrodos y su área, en este caso la capacitancia dependerá únicamente de la constante dieléctrica del material. Los materiales generalmente utilizados en nuestra aplicación trabajan entre un rango de $2 < \epsilon_r < 6^7$ (cebada malteada y arroz), mientras que el aire mantiene un valor fijo de 1 como constante dieléctrica.

En el siguiente resumen se definen las cantidades y condiciones de trabajo de cada sensor de nivel de acuerdo a su función y ubicación:

En cada silo se requiere la detección del nivel bajo y alto (total dieciocho), sus características se listan a continuación:

Tipo de medición	Puntual.
Grano a medir	Malta / Arrocillo.
Capacidad dieléctrica (ϵ_o)	Arrocillo: 5,10 Malta: 2,7
Alimentación	24 Vdc.
Señal de Salida	Contactos NO / NC.
Tensión de trabajo aproximada	30 Kilo newtons nivel alto. 50 Kilo newtons nivel bajo.
Temperatura de trabajo	30°C
Longitud de inserción aproximada.	18500 mm. Nivel bajo. 3000 mm. Nivel alto.

⁷ Según: Relative dielectric constant of Liquids and solid materials, Endress+Hauser

Fijación.	Al tumbado del silo.
Tipo de Conexión	Roscada de 1 ½" NPT.
Protección	Nema 4
Accesorios	Base metálica de acero inoxidable para fijación.

Tabla 2.2.3 Características medidores nivel silos

En las tolvas de recepción de Despacho de Malta, Polvo y Adjunto se colocarán sensores de nivel alto y bajo (total seis), de las siguientes características:

Tipo de medición	Puntual.
Grano a medir	Malta / Arrocillo.
Alimentación	24 Vdc.
Señal de Salida	Contactos NO/NC.
Temperatura de trabajo	30°C
Longitud de inserción aproximada:	
Tolva de Despacho de Malta.	4700 mm. Nivel bajo 1000 mm. Nivel alto
Tolva de Polvo.	7800 mts. Nivel bajo 3000 mts. Nivel alto
Tolva de Despacho de Adjunto.	7000 mm. Nivel bajo 3000 mm. Nivel alto
Fijación.	Al tumbado del silo.
Tipo de Conexión	Roscada de 1 ½" NPT.
Protección	Nema 4
Accesorios	Base metálica de acero inoxidable para fijación.

Tabla 2.2.4 Características medidores nivel tolvas

Para detección de sobre nivel en cada balanza se requiere la selección de tres nuevos sensores de las siguientes características:

Tipo De Medición	Puntual
Grano a medir	Malta / Arrocillo.
Alimentación	24 Vdc.
Señal de Salida	Contactos NC/NO
Temperatura de Operación	30°C
Fijación.	A pared de mini tolva en balanza.
Tipo de Conexión	Roscada de 1" NPT.
Protección	NEMA 4
Accesorios	Base metálica de acero inoxidable para fijación.

Tabla 2.2.5 Características detectores nivel balanzas.

2.2.2 Selección de sensores de temperatura

La medición de temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistemas de medición quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, la velocidad de captación de temperatura, la distancia entre el elemento de medida y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

Se debe tener presente que el grano que tenemos almacenado o que vamos a acondicionar es un ser orgánico, y que por lo tanto respira y produce calor, agua y dióxido de carbono.

Un aumento de temperatura de uno o dos grados, de un punto de medición a otro, debe ser tomado como una señal de alarma. Por esto, es imperativa la toma de muestras y el almacenamiento de registros para poder apreciar los cambios en el tiempo. Los problemas normalmente empiezan en localizaciones muy reducidas, y gradualmente crecen con el aumento de la población de microorganismos, hasta alcanzar un crecimiento exponencial durante la fase más crítica del proceso de deterioro.

De acuerdo a las razones expuestas, es necesario el monitoreo de temperatura en cada silo, para esto exponemos los principales requerimientos:

- Medición de temperatura multipunto en mínimo 4 zonas por silo.
- Rango de temperatura de medición: 15 °C a 45 °C.
- Longitud de inserción: 18 mts.
- Tensión soportada: 50 K newtons.

- Error permitido: +/- 0,3 °C.

Cabe mencionar que por cada silo se generarán como mínimo 4 señales análogas, lo que implica un total de 36 señales de temperatura adicionales al sistema de control, a fin de evitar altos costos de cableado e instalación hemos optado la utilización de un protocolo de comunicación estándar que se encargue de la integración de manera ordenada y sencilla de los datos de temperatura.

En la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas entre los principales tipos de sensores para medición de temperatura:

Características	Sensor				
	RTD de platino de película	RTD de platino bobinada	Termocupla	Termistor	Silicio
Costo del sensor	Moderado a bajo	Moderado	Bajo	Bajo a moderado	Bajo
Campo de medida	-200 a 750°C (560°C máx.típ.)	-200 a 850 (600°C máx.típ.)	-270 a 1800 °C	-100 a 500 (125°C máx.típ)	-40 a 125°C
Intercambiabilidad	±0.1%. ±0.3°C	±0.06%. ±0.2°C	±0.5%. ±0.2°C	±10%. ±0.2°C	±1%. ±0.3°C
Estabilidad	Excelente	Excelente	Pobre	Moderada	Moderada
Sensibilidad	±0.39%/°C	±0.39%/°C	±40µV/°C	-4%/°C	10mV/°C
Sensibilidad relativa	Moderada	Moderada	Baja	Muy elevada	Moderada
Linealidad	Excelente	Excelente	Moderada	No es lineal	Moderada
Pendiente	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva
Susceptibilidad a ruido	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja

Tabla 2.2.10.- Comparación entre diferentes sensores de temperatura⁸.

Industrialmente los dos sensores de temperatura mas utilizados son las termocuplas y las RTD`s. Entre las RTD`s mayormente utilizadas existen dos tipos: las de película y las bobinadas. Estas últimas tienen mejores características pero su costo es más elevado. En cuanto a las termocuplas existen varios tipos en función de los materiales que las constituyen. Entre las ventajas más importantes se resaltan los ambientes a los que van destinados (oxidante, corrosivo, etc.) y su bajo costo.

⁸ Mas detalles véase: Instrumentación Electrónica, pag. 477, ITES Paraninfo.

Si consideramos la utilización de RTD`s o termocuplas, requerimos igual cantidad de entradas para integrarlas al controlador seleccionado, además de su respectivo montaje y cableado. Esto encarecería la ejecución del proyecto en materiales y mano de obra. Existe otra alternativa sencilla, económica y muy practica que es la utilización de concentradores de señales por cada silo. Estos se encargan de recibir las señales de cada sonda, procesarla y mediante comunicación, integrarla al sistema de monitoreo central.

Como se mencionó anteriormente la robustez y el bajo costo de las termocuplas marcan una diferencia sobre las RTD`s. Si consideramos la utilización de cuatro sensores por silo (una sonda) y diez silos reduciremos considerablemente el costo de la implementación. Para nuestro caso utilizamos una sonda que consta de 6 sensores tipo termocupla tipo T (cobre – constantan), que integra un concentrador con protocolo modbus RTU y su respectiva compensación de juntura, sus especificaciones técnicas se muestran a continuación:

Tipo de Sensor	Termocupla tipo T (cu-constantan), clase 2
Rango de temperatura de trabajo	-20 a 120 gC
Aislamiento	Tubo interior de PVC
Tipo de Conexión	Brida articulada de acero templada
Tensión máxima	1500 Kg (en trabajo continuo)
Longitud de inserción	18 mts

Tabla 2.2.6 Termocupla silos.

En el ANEXO 2.2 se muestra la distribución de los equipos en la arquitectura de control para medición de temperatura.

2.2.3 Selección de confirmaciones y seguridades

Hemos considerado necesario el reemplazo e implementación de nuevas confirmaciones y seguridades para los equipos de mando. Se detalla a continuación el tipo de instrumentos utilizado y su aplicación:

TIPO	APLICACIÓN
Sensor Inductivo	Atascamiento transportadores redler
Micro interruptor	Atascamiento transportadores sinfín.
Sensores de vigilancia de movimiento	Confirmación exclusiva en movimiento a velocidad nominal.
Sensores de presencia de grano.	Sobre balanzas de recepción y despacho.

Tabla 2.2.7 Instrumentos de seguridades

Para el caso de sensores inductivos y micro interruptor se han adecuado las instalaciones para evitar atascamientos en las líneas de transporte. Las principales consideraciones tomadas en cuenta en la selección de los sensores de movimiento y presencia de grano se detallan en las siguientes tablas:

SENSORES DE MOVIMIENTO	
Rango de medición.	0 a 3000 rpm
Diámetro nominal	30 mm.
Alcance nominal de detección (Sn)	5 mm
Alimentación	24 Vdc
Tipo de salida	PNP 3 hilos.

Tabla 2.2.8 Sensores de movimiento

SENSORES DE PRESENCIA DE GRANO	
Tipo de medición	Capacitivo
Conexión al proceso	1"
Alcance nominal de detección (Sn)	30 mm.
Alimentación	24 VDC
Tipo de salida	PNP 3 hilos.

Tabla 2.2.9 Sensores de presencia de grano

La activación de una seguridad implica el bloqueo o desactivación del dispositivo protegido además del resto de equipos que lo alimentan, mientras que la activación de una confirmación en un dispositivo permite su normal funcionamiento, cualquier perturbación provocaría su inmediata desactivación.

2.3 Selección de controlador lógico programable PLC

Un Controlador Lógico Programable según definición NEMA es un “dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como: lógica, secuencias, temporizado, conteo y aritmética; con el objeto de controlar máquinas y procesos”⁹.

⁹ Mas detalles véase: Sistemas Digitales de Control de Procesos. Pag. 27

2.3.1 Capacidad de memoria

Todos los datos que el PLC maneja, su sistema operativo, el programa de aplicación, la tabla de estado de las E/S, etc, se almacenan en la memoria. En realidad deberíamos decir las memorias, porque son varias.

Según el tipo de PLC, este puede manejar mayor o menor cantidad de datos, y a su vez datos con formato más o menos extenso. La memoria total de un equipo tiene distintas zonas en las que se almacenan datos:

- Área de programa de aplicación (memoria de carga).
- Registro de E/S discretas.
- Registro de E/S análogas
- Registro de temporizadores y contadores
- Registro de variables.
- Área auxiliar.
- Sistema operativo.

El sistema operativo es una parte fija integrante del PLC. Debe permanecer inalterable a través del tiempo y ante la falla de

alimentación del equipo; además debe ser inmune a cambios accidentales generados por el operador o programador, por lo tanto necesita una memoria con capacidad de almacenamiento permanente, como son las memorias ROM, EPROM, EEPROM o RAM (respaldada por pila).

En cambio el programa de aplicación debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, pero también debe poder ser modificado fácilmente para la eliminación de errores de un programa o para programar el controlador en una nueva aplicación. Se utilizan memorias RAM o EEPROM.

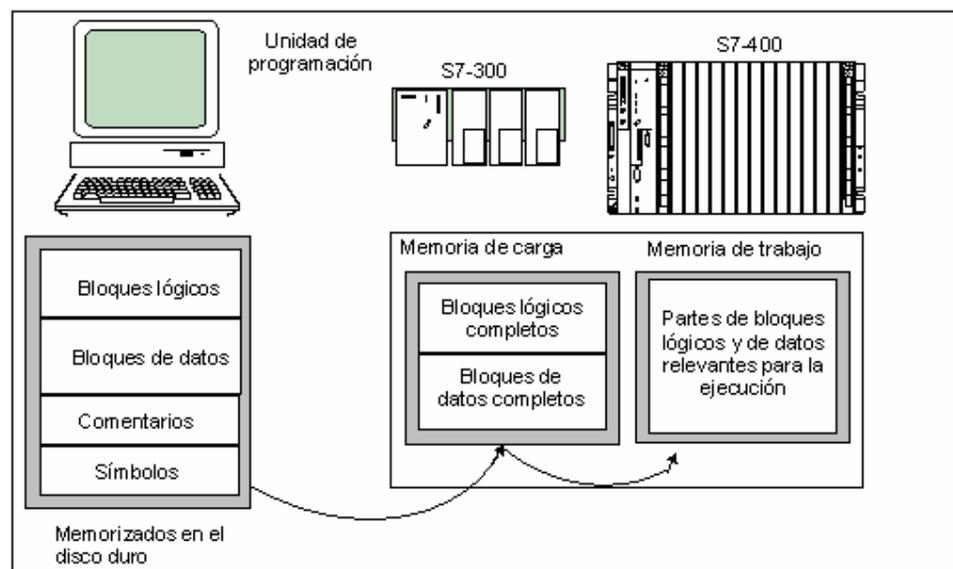


Figura 2.3.1 Distribución de memoria

Para las áreas de datos se requiere otra condición: las memorias deben permitir una lectura y escritura rápida. La velocidad de estas operaciones de ingreso y consulta de datos juega un papel fundamental en la velocidad de operación del PLC. Por otra parte, no se requiere permanencia de los datos luego de una caída en la alimentación, por ello se utilizan memorias RAM. A continuación se muestra la distribución de memoria clásica para un PLC S7-400 (siemens):

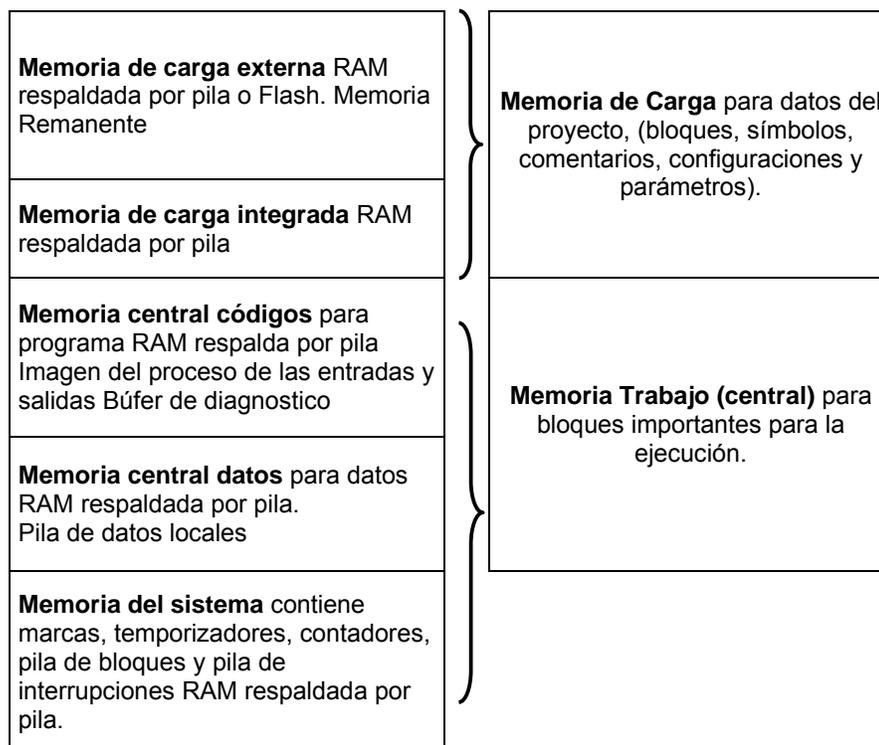


Tabla 2.3.1 Distribución de memoria¹⁰

¹⁰ Según manual: Sistema de automatización S7-400, Datos de las CPU (siemens)

Base de cálculo para estimar la memoria central o de trabajo necesaria.- Con el fin de no sobrepasar el tamaño de la memoria central o trabajo disponible en la CPU, al dimensionar se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos de memoria:

- Imagen de proceso (entradas/salidas)
- Recursos de comunicación
- Temporizadores
- Contadores
- Memorias
- Área de direccionamiento de memoria
- Tamaño de datos locales y código.

Requerimientos de memoria	K (bytes)
Tamaño de la imagen del proceso (entradas/salidas)	8
Recursos de comunicación (peticiones de comunicación)	8
Temporizadores 256	8
Contadores 256	8
Marcas 65536	8
Área direccionamiento periferia	8
Tamaño de datos locales y código.	200
Memoria teórica de trabajo	248
Memoria real de trabajo	256
Memoria teórica de carga	446
Memoria real de carga	512

Tabla 2.3.3 Cálculo de memoria

2.3.2 Capacidad de entradas / salidas

A continuación se muestran las principales recomendaciones para la selección de tarjetas para entradas / salidas aplicables a PLC de control o DCS ¹¹:

- Ingresar las señales que de alguna manera se encuentran vinculadas por proceso en distintas tarjetas de entrada / salida (por ejemplo caudal de vapor a un intercambiador y temperatura de salida del producto de dicho intercambiador, si se pierde una de las señales se podrá observar como se comporta la otra).
- Tener una reserva instalada del 20% en entradas / salidas y/o reserva en espacio para instalar nuevas tarjetas de entrada / salida o procesadores del 30% total para futuras expansiones. Si no se toma esta prevención agregar una tarjeta mas puede implicar agregar otro gabinete con su correspondiente fuente, redundancias de comunicación, etc.

¹¹ Mas detalles ver ref.: Sistemas Digitales de Control de Procesos, pag. 109. Sergio Szklanny

En el ANEXO 1.2 se muestra la distribución de entradas / salidas, la distribución entre los siete niveles y el panel principal se muestra a continuación:

SEÑALES CUARTO ELECTRICO		RESERVA
ENTRADAS DISCRETAS	112	17
SALIDAS DISCRETAS	48	6
SEÑALES PANEL SEGUNDO PISO		
ENTRADAS DISCRETAS	80	14
SALIDAS DISCRETAS	32	4
SEÑALES PANEL SEXTO PISO		
ENTRADAS DISCRETAS	80	8
SALIDAS DISCRETAS	96	20
TOTAL	448	69

Tabla 2.3.2 Distribución de señales

Entre las señales de campo y las tarjetas de entradas / salidas hemos considerado la utilización de módulos periféricos, obteniendo las siguientes ventajas:

- Aislamiento para señales de campo.
- Activación de dispositivos a través de reles de interfase.
- Ahorro de cableado, evita la utilización de bornes intermedios, conexión directa a las señales de campo.
- Fácil identificación y orden en paneles.
- Ahorro de tiempo en montaje de paneles.

2.3.3 Comunicación

Industrial Ethernet se ha especializado para aplicaciones rigurosas sin dejar de lado las ventajas de la utilización de un estándar ampliamente difundido administrativamente. A fin de aprovechar ambas ventajas descritas se utilizan dos tipos de enlaces entre dispositivos de monitoreo y control, estos son los siguientes:

Enlaces Administrativos.- Lo integran todos los equipos de monitoreo con tres servidores.

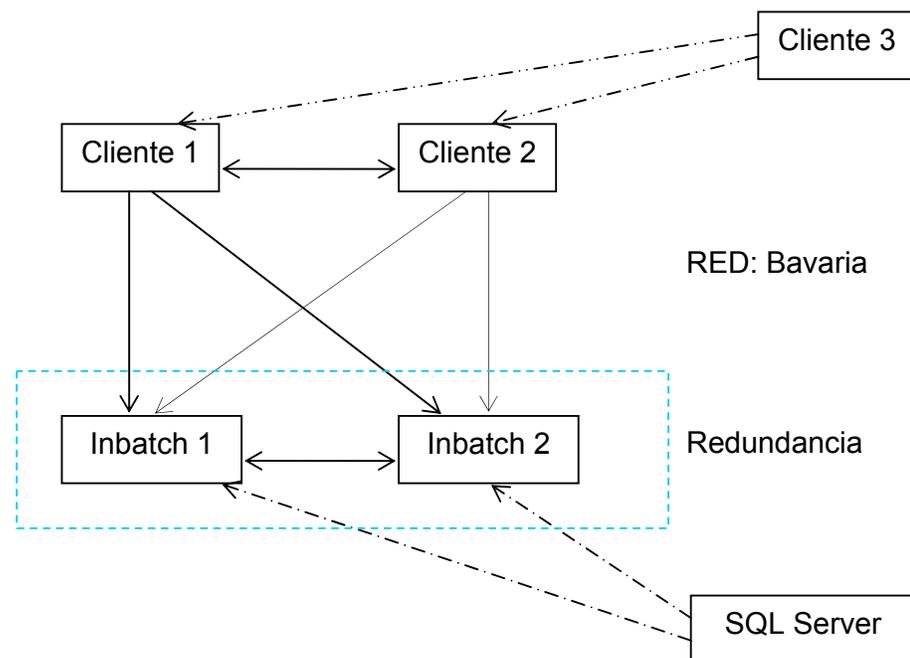


Figura 2.3.3 Enlaces administrativos

El cliente 3 para la visualización accede al cliente 1 o 2, existe además de redundancia entre los servidores de Inbatch.

Enlaces Industriales.- Lo integran todos los equipos de monitoreo, servidores y PLC's de control.

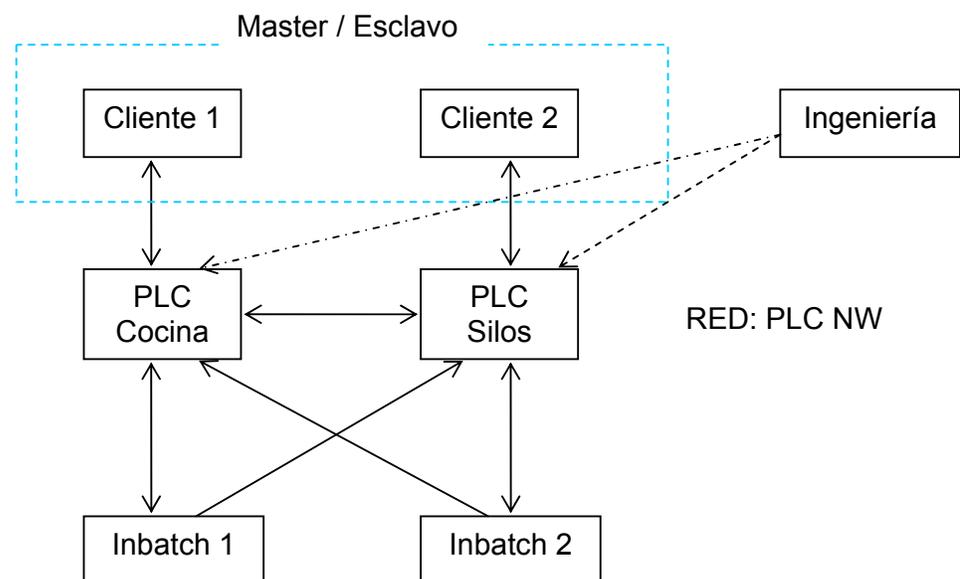


Figura 2.3.4 Enlaces industriales

Los clientes 1 y 2 trabajan en el sistema maestro / esclavo. Solo uno se encuentra activo la vez.

2.4 Selección de equipos de mando

2.4.1 Selección de arrancadores

Cada carga tiene sus propias características y en la elección de los contactores estas deben ser tomadas en cuenta. Es importante al momento de escoger un contactor, tener claro cual es la corriente de empleo I_e ¹².

Corriente de empleo (I_e).- Es la máxima corriente de carga que el contactor puede manejar sin un excesivo calentamiento o una degradación de sus contactos. La corriente de empleo es definida por el fabricante y toma en cuenta el voltaje nominal de empleo, la frecuencia nominal, el tipo de servicio, la categoría de empleo y la temperatura ambiente en el entorno del aparato.

Corriente de empleo según categorías de empleo.- La categoría de empleo juega un papel importante para determinar la corriente de empleo de los contactores. Es además, de las variables mencionadas en la definición aquella que con mayor frecuencia tendemos a omitir cuando escogemos un contactor.

¹² Según: catalogo elección de contactores Telemecanique: pag 4.

Categoría AC1.- Se aplica a cargas cuyo factor de potencia es mayor o igual a 0.95, como ejemplos tenemos: calefacciones en base a resistencias, distribución, transferencia de redes, etc.

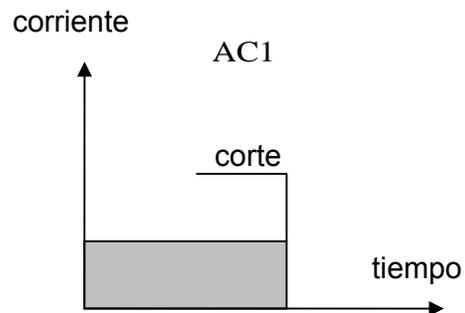


Figura 2.4.1 Curva AC1

Categoría AC2.- Se aplica a motores de inducción rotor bobinado sometidos a arranques directos, inversiones de marcha y marcha por impulsos. En el cierre el contactor debe ser capaz de establecer una corriente de 2,5 veces la corriente nominal del motor. En la apertura también debe ser capaz de interrumpir una corriente igualmente alta, ya que el motor debe detenerse cuando aun no alcanza su velocidad nominal y la corriente aun no esta en un valor muy alto. Por ejemplo: puentes grúas, grúas pórticos y en general todas la aplicaciones en que se utilizan motores de anillos rozantes.

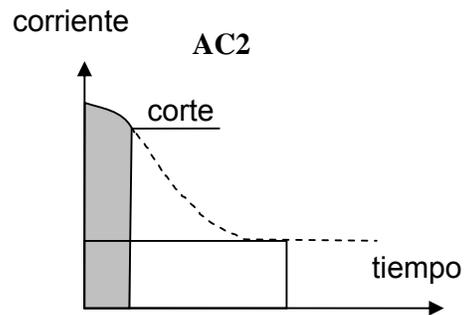


Figura 2.4.2 Curva AC2

Categoría AC3.- Es la categoría mas utilizada. Se aplica a motores jaula de ardilla con arranque directo y frenado a motor lanzado. El factor de potencia es típicamente 0.85 inductivo. En el cierre el contactor debe ser capaz de establecer una corriente de 8 a 10 veces la corriente nominal del motor. En la apertura el contactor solo debe ser capaz de interrumpir una corriente igual a la corriente nominal del motor. Ejemplo: transportadores, compresores, mezcladores, etc.

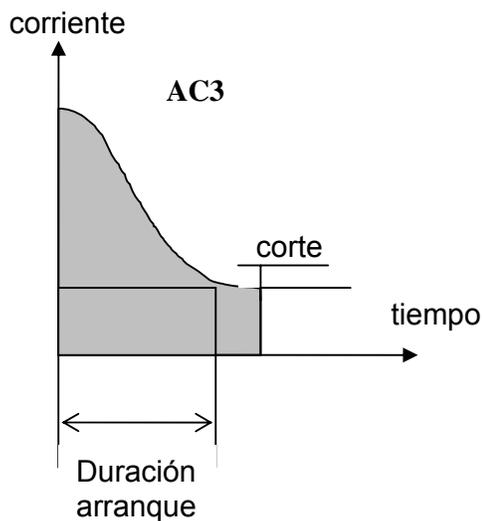


Figura 2.4.3 Curva AC3

Debido a que la totalidad de motores en nuestra aplicación son utilizados para la activación de transportadores y compresores utilizaremos la categoría AC3 para la elección de contactores.

Para el motor utilizado en el compresor de lóbulos (152) hemos considerado la utilización de un arrancador de estado sólido, sus datos de placa son los siguientes:

Voltaje	440 Vac
Potencia	63 KW
Corriente	104 A
Revoluciones	1760 rpm

Tabla 2.4.1 Datos de placa motor 152

2.4.2 Selección de actuadores neumáticos

Para la activación de compuertas neumáticas en silos se requiere la reposición de dos cilindros neumáticos, las necesidades son las siguientes:

Compuerta de descarga principal tipo I

Fuerza requerida	60 Kgf
Recorrido de compuerta	160 mm
Presión de trabajo	5 Kgf/cm ²

Tabla 2.4.2 Compuertas tipo I

Cálculo de cilindro:

$$F = P \cdot A$$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{60\text{Kgf}}{5\text{Kgf} / \text{cm}^2}$$

$$A = 12\text{cm}^2 = 120\text{mm}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\Pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{120}{\Pi}}$$

$$r = 19,5mm$$

$$d.cilindro = 2 * r = 39mm.$$

Diámetro de cilindro \cong 40 mm, recorrido = 160 mm.

Compuerta de selección tipo II

Fuerza requerida	40 Kgf
Recorrido de compuerta	100 mm
Presión de trabajo	5 Kgf/cm ²

Tabla 2.4.3 Compuertas tipo II

Cálculo de cilindro:

$$F = P \bullet A$$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{40Kgf}{5Kgf / cm^2}$$

$$A = 8cm^2 = 80mm$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\Pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{80}{\Pi}}$$

$$r = 15,9mm$$

$$d.cilindro = 2 * r = 31,9mm.$$

Diámetro de cilindro \cong 40 mm, recorrido = 100 mm,.

2.4.3 Selección de válvulas

La necesidad universal de normalizar el cálculo de las dimensiones de las válvulas, no solo en cuanto al tamaño sino también en cuanto a la capacidad de paso del fluido ha llevado a los fabricantes y a los usuarios a adoptar un coeficiente que refleja y representa la capacidad de las válvulas de control. Este coeficiente es denominado Cv y su definición se muestra a continuación:

Cv definición: “caudal de agua en galones por minuto que pasa a través de la válvula en posición completamente abierta y con una pérdida de carga de 1 psi”.¹³

Para el sistema de extracción de polvo existente es necesario el reemplazo de válvulas solenoides, las características de estas

¹³ Según ref.: Instrumentación Industrial, de Antonio Creus, pag.: 428.

dependen de principalmente del flujo requerido, a continuación se muestra el cálculo del C_v ¹⁴ requerido:

Datos:

Caudal nominal (Q_n): 120 m³/h (tubería ¾")

Temperatura (T): 303 °F

Presión anterior (P1): 4 bar

Presión posterior (P2): 2 bar

Peso específico fluido (G) = aire = 1

$$C_v = \frac{Q_n \sqrt{G.T}}{835 P_1}$$

$$C_v = \frac{120 \sqrt{1.303}}{835 \cdot 4}$$

$$C_v = 0,62$$

¹⁴ Formula utilizada: calculo de C_v para gases según ref.: Instrumentación Industrial, de Antonio Creus.

2.5 Instalación

2.5.1 Dimensionamiento de paneles

Para la distribución de equipos de fuerza y control se considero la fabricación de dos gabinetes principales ubicados en el cuarto de paneles eléctricos. Debido a la densidad de señales de campo distribuidas entre los siete niveles, se considero la utilización de dos sub-paneles de características similares instalados en el segundo y sexto nivel de la torre de equipos. Su dimensionamiento y consideraciones realizadas se detallan a continuación:

Panel principal.- Este gabinete se encuentra dividido en cuatro zonas, ANEXO 2.7:

1. Zona 1.- A esta zona ingresa la acometida principal e incluye los siguientes elementos: disyuntor principal y barras de alimentación.

Calculo de protección principal.- En el ANEXO 1.3 se detalla el consumo de corriente y potencias nominales de todos los equipos utilizados, la corriente nominal

encontrada es $I_n \cong 460$ Amp., el dimensionamiento de la protección principal es:

$$I_n \times f_c \times f_s = I_s$$

Dónde:

I_n = corriente nominal de la carga.

f_c = factor de coincidencia.

f_s = factor de seguridad (recomendado por el fabricante de la protección).

I_s = corriente de selección.

Por lo tanto tenemos:

$$459,3 \times 0,6 \times 1,4 = 385,8 \text{ Amp}$$

El disyuntor seleccionado es:

Siemens 3VL67 80-1AE36, sus características son las siguientes:

Intensidad Máxima I_n	800 Amp
Tensión asignada de empleo U_e	600 Volts (NEMA)
Tensión asignada soportada al impulso U_{imp}	4 KV
Rango de operación	320 a 800 Amp
Vida útil	5000 maniobras

Tabla 2.5.1 Características breacker principal

Curva característica del tiempo de respuesta se muestra a continuación:

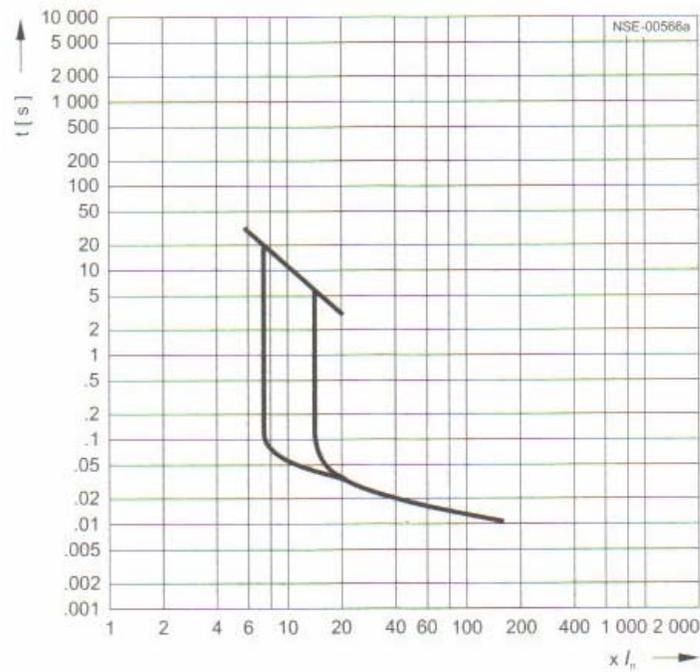


Figura 2.5.1 Curva del breacker

Cálculo de barras de alimentación.- Para la alimentación de todos los equipos de mando a nivel de 440 Vac, hemos considerado la fijación de barras superiores en cada panel. El cálculo utilizado para su selección se muestra a continuación:

$$I_s = I \text{ barra}$$

Dónde:

I_s = corriente de selección.

$I \text{ barra}$ = corriente de barra.

Por lo tanto tenemos:

$$385,8 = I \text{ barra}$$

En la siguiente tabla se muestran las capacidades de los diferentes tipos de barras de cobre:

Ancho X grueso	Sección	Peso	Material	Intensidad permanente Corriente alterna 40 a 60 hZ			
				Barras desnudas Número y disposición			
				1	2	3	4
				I	II	III	II II
mm	mm ²	kg/m		A	A	A	A
12X2	23,5	0,209	E-Cu F 37	110	200		
15x2	29,5	0,262	E-Cu F 37	140	240		
15X3	44,5	0,396	E-Cu F 37	170	300		
20X2	39,5	0,351	E-Cu F 37	185	315		
20X3	59,5	0,529	E-Cu F 37	220	380		
20X5	99,1	0,882	E-Cu F 30	295	500		
25X3	74,5	0,663	E-Cu F 37	270	460		
25X5	124	1,11	E-Cu F 30	350	600		
30X3	89,5	0,796	E-Cu F 37	315	540		
30X5	149	1,33	E-Cu F 30	400	700		
40X3	119	1,06	E-Cu F 37	420	710		
40X5	199	1,77	E-Cu F 30	520	900		
				760	1350	1850	
40X10	399	3,55	E-Cu F 25	2500			

Tabla 2.5.2.- Barras de cobre, según DIN 43 671/11.64
Temperatura ambiente 35 °C, temperatura admisible en
las barras 65 °C, longitud de las barras < 2 m.¹⁵

Para nuestra aplicación hemos seleccionado una barra de 30 x 5 mm.

¹⁵ Según manual de baja Tensión: Criterios de selección de aparatos de maniobra e indicación para instalaciones y distribución Siemens.

El dimensionamiento del panel se incluye en las zonas 2,3 y 4 mostradas a continuación.

2. Zonas 2, 3 y 4.- En su interior se distribuyen los siguientes equipos:

- ✓ Módulos de E/S.- Para adquisición de señales de arrancadores.
- ✓ Módulos Telefast de E/S.- Utilizados para la activación vía relé de los arrancadores y para la confirmación de activación de dispositivos.
- ✓ Arrancadores de motores.- Se encargan de la activación de todos los dispositivos de mando, incluyen breakers, contactores y térmicos.
- ✓ Fuentes de alimentación y bornes de conexiones.

El cálculo del área requerida para los paneles descritos se muestra a continuación:

Formula utilizada:

$$A.BP + A.AR + A.AS + A.P + A.ME + A.MS + AF + A.C. + \\ \text{reserva (40\%)} = A.T.$$

Por lo tanto tenemos:

	Área	CNT	Total
A.BP: Area breacker principal	0,100	1	0,100
A.AR: Área arrancadores (incl. barras de cobre) directos	0,015	40	0,600
A.AR: Área arrancadores (incl. barras de cobre) Y-Delta	0,050	4	0,200
A.AS: Área arrancador suave (incl. Contac. y prot.).	0,269	1	0,269
A.P : Área periferia (módulos S7-200).	0,100	7	0,700
A.ME: Área módulos de entrada (telefast).	0,105	7	0,735
A.MS: Área módulos de salida (telefast)	0,042	3	0,126
AF : Área Fuente	0,028	1	0,028
AC : Área canaleta	0,240	16	3,840
Reserva 20 %			1,320
AT : Área Total			7,918

Tabla 2.5.3 Cálculo área panel principal

El estándar utilizado para cada panel es de 2 mts x 1,2 mts, de esto se obtiene un área por panel de 2,4 mts (A. Panel).

La cantidad de paneles requerido será:

$$\text{Cantidad de Paneles} = A.T. / A. \text{ Panel}$$

Cantidad de Paneles = $7,9 \text{ (m}^2\text{)} / 2,4 \text{ (m}^2\text{)}$

Cantidad de Paneles $\cong 4$

Sub-paneles de Control.- Cada gabinete requiere la instalación de los siguientes equipos:

- ✓ Módulos de E/S.- Para adquisición de señales de campo.
- ✓ Módulos Telefast de E/S.- Utilizados para la activación vía relé de actuadores y señales de proceso.
- ✓ Transformador de control.
- ✓ Fuentes de alimentación y bornes de conexiones.

Calculo del área en sub-panel segundo y sexto piso:

	Area	CNT	Total
A.P = Área periferia (módulos S7-200).	0,100	2	0,200
A.ME = Área módulos de entrada (telefast).	0,105	3	0,315
A.MS = Área módulos de salida (telefast)	0,042	3	0,126
AF = Área Fuente	0,028	1	0,028
AC = Área canaleta	0,240	3	0,720
A.TR = Área Transformador	0,036	1	0,036
Reserva 20 %			0,278
AT = Área Total			1,703

Tabla 2.5.4 Cálculo área sub-paneles

$$\text{Cantidad de Paneles} = A.T. / A. \text{ Panel}$$
$$\text{Cantidad de Paneles} = 1,7 \text{ (m}^2\text{)} / 2,4 \text{ (m}^2\text{)}$$
$$\text{Cantidad de Paneles} \cong 1$$

Finalmente en el ANEXO 2.4 se muestran los planos eléctricos de nuestra implementación aquí se grafican las conexión y nomenclatura utilizada.

2.5.2 Selección de cables, tuberías y canales

Como seleccionar Cables.

El estándar para la selección de los cables para las siguientes señales es:

- a) 4-20mA Cables señales analógicas 2 x 18 apantallado.
- b) 24VDC Cables señales digitales 3 x 18 concéntrico

Instalación General de Cables

Interferencia eléctrica: Es importante eliminar el ruido en las señales de instrumentación para esto se siguen las siguientes reglas:

I) Alto riesgo de interferencia eléctrica.

- Señales análogas de corriente
- Señales análogas de bajo voltaje
- Señales seriales y paralelos ASCII
- Señales TTL.

II) Señales de bajo riesgo de interferencia.

- Señales de generador de pulsos
- Señales de entrada de baja tensión DC
- Señales de salida de baja tensión DC

III) Señales creadoras de interferencia.

- Fuentes de poder
- Cables de motores

- Salidas de poder
- Línea de alta tensión

Comparaciones:

- a) Las señales de los grupos (I) y (II) de arriba pueden correr por la misma canastilla pero no por el mismo cable multipar.
- b) El cableado del grupo (III) debe separarse de los grupos (I) y (II).
- c) El espacio mínimo entre el grupo (III) y los grupos (I) y (II) es 1% del largo recorrido paralelo, pegadas al electrocanal que se encuentra ubicado en dicha área.
- d) Las válvulas, solenoides y micro interruptores pueden correr con el mismo cable.

Como sostener los cables.

- a) Los cables deben sostenerse a canastillas/canaletas en intervalos no mayores de un metro para canastillas/canaletas horizontales y 50cm para canastillas/canaletas verticales.
- b) Se da cuidado especial a cables para que mantengan la misma posición relativa a lo largo del tendido y que no desplacen otros cables cuando salgan de las canastillas/canaletas.

Como terminar los cables.

- a) Para cajas de paso, estaciones de control, etc., los cables son introducidos desde abajo.
- b) La entrada de los cables y la posición de los terminales es diseñado de la manera tal que los cables puedan ser fácilmente identificados y atornillados a los bloques terminales. Todos los terminales son numerados.
- c) No más de dos conductores se conectan a un terminal.
- d) Todos los cables tienen terminales apropiados en cada punto de terminación.

- e) Todos los cables son continuos sin empates (solo a través de cajas de paso con terminales). No se realizan soldaduras de cables.

Aterrizaje.

Los cables enmallados son aterrizados en un extremo de cable solamente. Se conectan las tierras en el riel del panel.

Marquillas de Cables.

- a) Cada extremo del cable es marcado con un número de identificación que tenga la referencia del cable en caracteres de mínimo 6mm. Están ubicados a máximo 50mm del conector.
- b) Las marquillas son ubicadas de tal manera que se puedan leer de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.

Canastillas/Canaletas:

- a) Las canastillas/canaletas son ubicadas cuando los cables excedan el diámetro de las tuberías. El diámetro máximo para la tubería es 2”.

- b) Las canastillas/canaletas son de acero galvanizado, así como todos sus accesorios (pernos, uniones, etc.)
- c) Todas las canastillas/canaletas tienen una capacidad del 40% libre.
- d) La entrada de los cables a los paneles de control ingresan por debajo de los paneles.

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL.

- a) La canastilla/canaleta termina cerca al punto de entrada de la caja de paso asociada.
- b) Todas las bajantes, curvas o te de las canastillas/canaletas están formados de un diámetro inferior capaz de acomodar todos los cables de acuerdo a las especificaciones del fabricante de cables.
- c) Los soportes de las canastillas/canaletas son colocados sólo de manera vertical y horizontal.
- d) Los materiales a usar para soportar las canastillas/canaletas dependen del clima, pero de acuerdo a las reglas siguientes:

1. Para los propósitos generales e instalaciones exteriores, los ángulos y los canales de hierro son pintados.

2. Para áreas de proceso, que sean generalmente secas ó húmedas pero que procesan o almacenan materiales, soportes de acero inoxidable son utilizados.
3. Donde se usen soportes galvanizados y se añaden los acabados, estos son pintados.
4. No se sujeta la canastilla/canaleta a ningún techo metálico.

Aterrizaje de Canastillas/Canaletas.

Se asegura que exista continuidad eléctrica a lo largo de la canastilla usando cable aislado para la tierra (mínimo 1.5mm² de cobre trenzado). Este cable une las partes de la canastilla/canaletas que no estén unidas físicamente.

CONEXIONES FLEXIBLES:

- a) Se usan conexiones flexibles para proteger los cables hacia las conexiones finales si el cable no es de este tipo armado.
- b) Las conexiones finales a los instrumentos se realizan con funda flexible de PVC o funda metálica.
- c) Las fundas flexibles son lo mas cortas posibles (promedio 50cm) y no se excede bajo ninguna circunstancia 100cm.

- d) Se aíslan los dos extremos para prevenir el ingreso de agua.

TUBERÍA:

- a) Se usa tubería para llevar un pequeño número de cables, deberá quedar un 20% de espacio libre de utilización.
- b) Se usa tubería desde 1/2" hasta 1 1/2". La que es sujeta utilizando channel y/o menzulas galvanizadas con pintura al horno ó acero galvanizado, con sus respectivos pernos de expansión.
- c) Las tuberías son seleccionadas de acuerdo a especificaciones técnicas del fabricante del cable.
- d) Las tuberías y accesorios son metálicos.
- e) Los extremos de la tubería se conectan sólidamente a los acoples y si terminan en cajas de distribución, caja de terminales u otra caja metálica que no tengan entrada, se usaran conectores con corona y contratuerca.
- f) La tubería es a prueba de agua. Debe tener puntos de drenaje en las partes bajas de la tubería.
- g) Se pone especial énfasis para asegurar la conductividad de la tierra a lo largo de la tubería. Se usa un cable (mínimo 1.5mm² cobre trenzado) para unir los tramos.

2.5.3 Recorridos, cantidades y materiales

En el ANEXO 2.6, se muestran los recorridos utilizados. El detalle de equipos, materiales, cantidades y accesorios utilizados se muestran en el ANEXO 2.5.

CAPITULO III

III. PROGRAMACIÓN

3.1 Programación estructurada

En la medida en que la programación requerida para una aplicación crece, puede dar como resultado un programa engorroso y de difícil mantenimiento.

Han surgido entonces varios métodos complementarios que tienen por objetivo facilitar el diseño del programa de aplicación. Estos métodos se conocen como **programación estructurada**.

Según la definición del diccionario: “Una estructura es un conjunto de elementos solidarios entre si, que integran una totalidad, de la cual son miembros y no partes, constituyendo un todo y no una suma. Los miembros se caracterizan por su independencia, su articulación en la forma total, y su solidaridad”.

De acuerdo a esta definición, la programación estructurada consiste en la descomposición de un trabajo en varias tareas independientes, autocontenidas y fáciles de comprender. Cada una de estas tareas

se diseña por separado y un programa maestro define cuando se corre cada tarea y controla el conjunto.

Este tipo de técnicas es utilizado cuando se implementan aplicaciones de mayor complejidad.

3.1.1 Estructura del programa

Las listas de instrucciones (AWL) es un lenguaje de programación textual orientado a la maquina. El lenguaje AWL es el lenguaje ensamblador del Step 5 y Step 7. Si un programa ha sido elaborado en AWL, cada instrucción corresponderá a cada uno de los pasos que da el CPU (Central Processing Unit) para ejecutarlo.

Existen dos estándares de instrucciones AWL comúnmente utilizadas: nemotécnica alemana (SIMATIC) y nemotécnica inglesa (internacional), ambas difieren de los símbolos utilizados, pero a final realizan la misma función. A fin de estandarizar los equipos utilizaremos la nemotécnica alemana, en el ANEXO 3.3 se muestra un resumen de las principales operaciones utilizadas.

Aprovechando las principales ventajas de la programación estructurada, se procedió a la clasificación de los bloques de organización (OB), función (FC) y datos (DB) en cuatro tipos principales que se detallan a continuación¹⁶:

3.1.2 Bloques de organización (OB)

Los bloques de organización constituyen la interfase entre el sistema operativo del CPU y el programa de usuario. Con la ayuda de los OBs es posible seleccionar la ejecución de partes de programas:

- Al arrancar el CPU
- En ejecución cíclica o también intermitente temporal
- A determinadas horas o en determinados días
- Después de transcurrir un tiempo preestablecido
- Al producirse errores
- Al dispararse alarmas de proceso.

Los bloques de organización se procesan en correspondencia con la prioridad que tienen asignada a continuación¹⁷:

¹⁶ La distribución de llamadas se muestran gráficamente en el ANEXO 3.1

¹⁷ Hemos utilizado los principales bloques de organización, existen varios bloques que nos indican sus posibles estados, para mas detalles refiérase al índice de OB`s S7 help.

- **OB1.-** El sistema operativo del CPU del S7 ejecuta el OB 1 de forma cíclica: Una vez finalizada la ejecución del OB 1, el sistema operativo comienza a ejecutarlo de nuevo. La ejecución cíclica del OB 1 comienza una vez que el arranque ha finalizado. En el OB 1 realizamos llamadas a bloques de: arranque (FC 720), control de proceso (FCs 951, 952, 958 y 959) y finalización de ciclo (FC 721).

- **OB35.-** Con su ayuda es posible arrancar programas a intervalos temporales equidistantes de 100 ms. En nuestro programa, se encarga del control de Contadores (FC, Dispositivos DM, Medición de Valores MV, Funciones Múltiples MF, No lineales NLF, Selector análogo ASL y temporizadores.

- **OBs de Falla o error.-** Cuando se produjera una falla o error en la CPU, esta se encarga de llamar a uno de los siguientes bloques configurados:
 - OB81.- Falla de alimentación.

- OB82.- Falla de periferia.
- OB83.- Error en la ejecución del programa.
- OB86.- Falla en bastidor.
- OB100.- Alarma re-arranque completo(cal).
- OB101.- Alarma re-arranque
- OB121.- Error de programación
- OB122.- Error acceso a periferia.

La generación de una falla o error descrito provocaría que el CPU pasara a estado STOP, por este motivo se hace necesaria su inclusión en la programación.

3.1.3 Bloque de seguridades

Se considera en nuestra programación cada dispositivo de mando (DM elemento final de control: válvula, motor, etc) como un elemento de control independiente, todas las seguridades de su funcionamiento se realizan a través del bloque de seguridades.

Cada bloque de seguridades se encarga de tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de cada dispositivo programado, estos funcionan en cualquier mando es decir en operación manual o automática. Por ejemplo: la activación de un transportador sin la apertura de su ruta de descarga provocaría su atascamiento, este tipo de seguridades, bloqueos o interlocks se definen únicamente una vez en el programa, por consiguiente las operaciones básicas, los programas de enlace y demás secuencias automáticas referentes a estos elementos de mando son más cortos y comprensibles.

Este tipo de bloqueo básico no constituye un sustituto a las seguridades cableadas eléctricamente, constituyen una seguridad adicional a su normal funcionamiento. En el caso de que no se cumpla las condiciones de bloqueo (señal "1") prioritariamente e instantáneamente se procederá a su desactivación "apagado".

El bloque utilizado para los primeros 128 dispositivos (1 a 128) programados es el FC 728, para los siguientes 128 dispositivos (129 a 256) utiliza el FC 729.

A continuación presentamos las consideraciones de funcionamiento y el programa de bloqueos para el transportador 186 tomado como ejemplo.

El transportador 186 no se activará si fallara una de las siguientes condiciones:

- ✓ Existiera una falla de alimentación (restablecimiento de energía)
- ✓ El sensor de atascamiento se encontrara activado (estado "0")
- ✓ El elevador 187 no se encontraría activado (ruta de descarga)
- ✓ La protección térmica se encontrara activada (estado "1")

El segmento de programa quedaría expresado de la siguiente manera:

```

UN M 1.0 // Falla de energía.
U E 9.7 // entrada discreta, no esta encendido elevador 187
U E 23.4 // entradas discreta, falla sensor de atoramiento
UN E 0.5 // entrada discreta, TERMICO no activado
= M 288.1 // Marca, estado "1" habilita su funcionamiento, "0" bloquea

```

Donde:

U : Operación AND (Y)

UN : Operación AND NO (Y-no)

= : Operación de asignación.

Adicionalmente si el dispositivo se encontrara bloqueado en el sistema de monitoreo se mostrara la palabra “bloqueado”, para su fácil reconocimiento.

3.1.4 Bloques de control

Para la manipulación de dispositivos de mando (DM) (motores, válvulas, ventiladores, etc.), se ha considerado la utilización de un bloque de control independiente, este se encarga del manejo de hasta 256 dispositivos. Sus funciones principales son las siguientes:

- ✓ Activación
- ✓ Desactivación
- ✓ Control
- ✓ Señalización y
- ✓ Ajuste de dispositivos de mando.

Las instrucciones de mando pueden provenir de las siguientes fuentes:

- ✓ Operaciones básicas de las unidades (receta)
- ✓ Programas de enlace (subprogramas)
- ✓ Otros programas automáticos independientes y
- ✓ Desde la pantalla de operación.

En la siguiente figura se ilustra la estructura del bloque de control de dispositivos (FC 826).

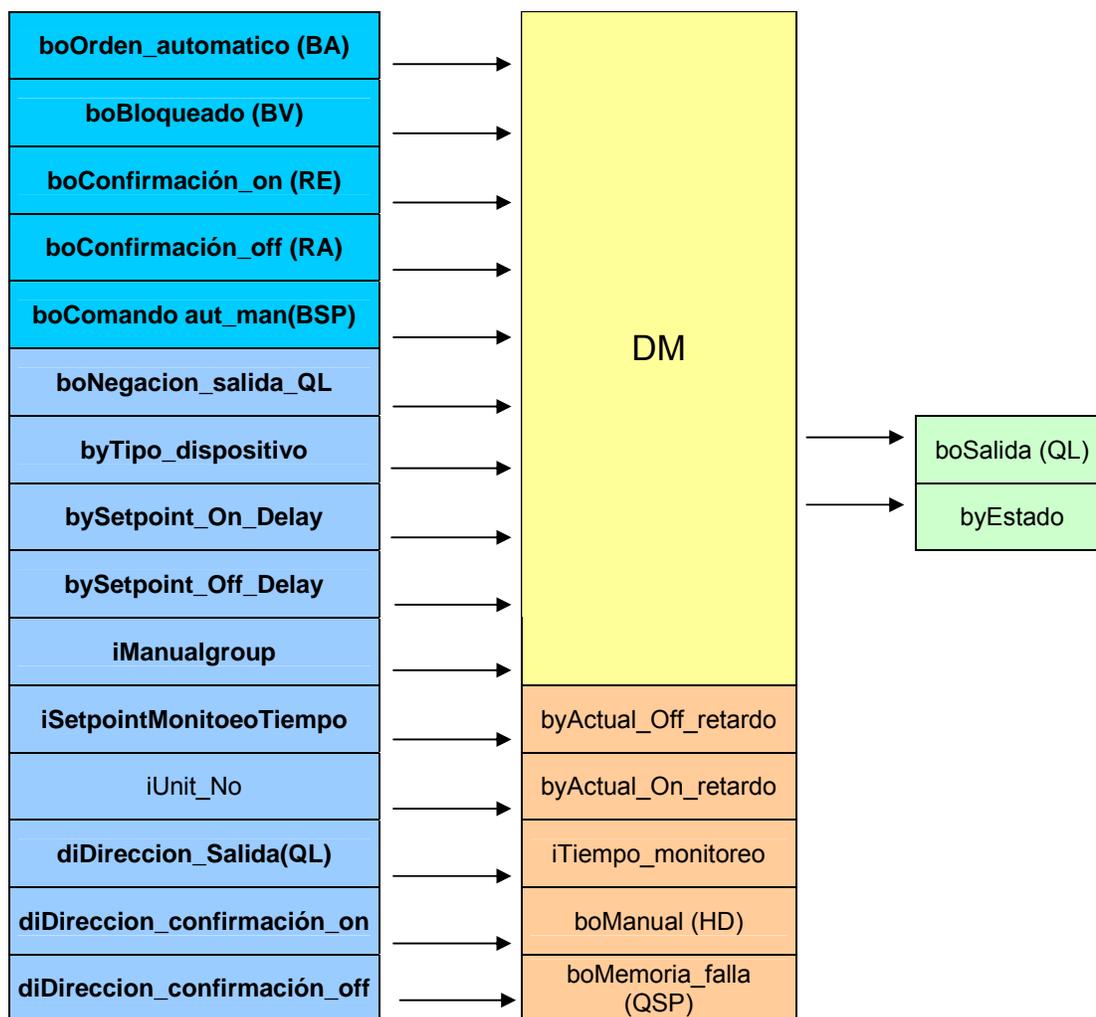


Tabla 3.1.4 Estructura dispositivos

Bits y bytes de monitoreo - control.- El tipo, ajuste y parametrización del dispositivo de mando se realiza desde el interfaz de monitoreo, para esto es necesario definir las definiciones de cada uno:

✓ boOrden_Automático (BA bit).- Monitorea el estado de la activación del dispositivo en mando automático: “1” Activación mando automático, “0” desactivado mando automático, se utiliza el siguiente rango de memoria para su correspondiente dispositivo:

- DM1: M 128.0 – M 159.7

✓ boBloqueado (BV bit).- Monitorea bloqueo “1” Dispositivo bloqueado, “0” Dispositivo desbloqueado.

✓ boConfirmacion_on (RE bit).- Monitorea el estado de la señal de confirmación de encendido, “1” activo “0” desactivo.

✓ boConfirmacion_off (RA bit).- Monitorea el estado de la señal de confirmación de apagado, “1” activo “0” desactivo.

✓ boComando auto_man (BSP bit).- Activación dispositivo en mando manual o automático de acuerdo al siguiente detalle:

- Mando automático.- El bit BSP se modifica con un cambio en la señal BA.

- Mando manual.- El bit BSP se cambia por la operación en la pantalla.
 - Con una modificación en BSP se inicia el tiempo de monitoreo.
-
- ✓ boNegacion_salida_QL (bit).- Activa tipo de salida, “1” salida negada (lógica negativa), “0” salida sin negación (lógica positiva).

 - ✓ byTipo_dispositivo (byte).- Parametrización del tipo de dispositivo de accionamiento de acuerdo a la siguiente tabla:

0	Válvula, QL = 1 - RE = 1
1	Motor, QL = 1 - RE = 1
2	Válvula, QL = 1- RE = 0
3	Motor, QL = 1 - RE = 0
4	Válvula, QL = 1 - RE = 1; QL = 0 - RA = 1
5	Motor, QL = 1 - RE = 1; QL = 0 - RA = 1
6	Válvula, QL = 1 - RE = 0; QL = 0 - RA = 0
7	Motor, QL = 1 - RE = 0; QL = 0 - RA = 0
64	Sin confirmación.
128	Ignorar.

Tabla 3.1.5 Tipos de dispositivos

- ✓ bySetpoint_On_Delay (byte).- Parametrización del tiempo de retardo a la activación, solo opera en mando automático y la unidad utilizada es segundos.
- ✓ bySetpoint_Off_Delay (byte).- Parametrización del tiempo de retardo a la desactivación, solo opera en mando automático y la unidad utilizada es segundos.
- ✓ iSetpointMonitoeoTiempo (entero).- Ajusta el tiempo de monitoreo para el retorno a la activación o desactivación de cada dispositivo. Pasado este tiempo fijado (seg.) para su activación o desactivación y si no encontrase su respectiva confirmación el dispositivo entrara al estado de falla. Para el

caso de motores o ventiladores se apagaran y para el caso de válvulas se mantendrá activada su salida.

✓ iManualgroup (entero).- Cada dispositivo responde a un grupo de dispositivos en operación manual o automática, si por lo menos uno de ellos cambiase de modo, todos los demás dispositivos cambiaran también. Para nuestro caso se han definido los siguientes grupos manuales:

- Grupo 1 => Recepción
- Grupo 8 => Transporte de Malta
- Grupo 9 => Transporte de Adjunto
- Grupo 30 => Aspiración existente
- Grupo 31 => Aspiración nueva
- Grupo 32 => Silos 6 y 7 (compuertas dobles)
- Grupo 33 => Silos 8 y 9 (compuertas dobles).

✓ diDireccion_Salida(QL).- Se compone de dos enteros y el primero conserva la dirección física de la tarjeta asignada y el segundo la posición en dicha tarjeta (rango 0 a 7). P.ejem.: 10 (primer entero) 5 (segundo entero) corresponden a la dirección 10.5.

- ✓ diDireccion_confirmacion_on y diDireccion_confirmacion_off.-
Su función es similar a la anterior, pero se encargan de asignar la dirección de la confirmación de activación (RE) y desactivación (RA).

- ✓ boMemoria_falla (QSP) (bit).- Si no se obtuviera respuesta de confirmación pasado el tiempo de monitoreo se activara un bit de falla del dispositivo, operario deberá reconocer la falla y proceder a la revisión del equipo.

- ✓ boSalida (QL) (bit).- Activa la correspondiente salida física de periferia, previo configuración en el parámetro: diDireccion_Salida(QL).

- ✓ byEstado (byte).- Es utilizado para el monitoreo de cada dispositivo configurado, a continuación se muestra el estándar utilizado:

Byte estado	Descripción de estado	
0	Dispositivo desactivado	Automático
1	Dispositivo activado	
2	Dispositivo activando (mon. time)	
3	Falla dispositivo	
4	Dispositivo desactivado	Manual
5	Dispositivo activado	
6	Dispositivo activando (mon. time)	
7	Falla dispositivo	

Tabla 3.1.6 Byte estado dispositivo

3.1.5 Bloques de proceso

Se han definido cuatro bloques principales de proceso, cada uno se encarga de la activación de cada fase del proceso:

Recepción de materia prima (FC 951).- Su operación es de manera independiente a las demás unidades, se ha definido para esta unidad la utilización de las siguientes fases de proceso:

- ✓ Inicio (FC 1001)
- ✓ Alarma (FC 1002)
- ✓ Aspirar (FC 1003)
- ✓ Recepción silo principal (FC 1004)

- ✓ Recepción silo auxiliar (FC 1005)
- ✓ Vaciar línea (FC 1006)
- ✓ Aspiración final (FC 1007)
- ✓ Fin (FC 1008).

Transporte de Malta (FC 958).- Su operación se realiza de acuerdo al llamado en la receta principal generada, se han definido las siguientes fases de recepción:

- ✓ Inicio (FC 1011)
- ✓ Alarma (FC 1012)
- ✓ Aspirar (FC 1013)
- ✓ Transporte malta silo principal (FC 1014)
- ✓ Transporte malta silo auxiliar (FC 1015)
- ✓ Vaciar línea (FC 1016)
- ✓ Aspiración final (FC 1017)
- ✓ Fin (FC 1020).

Transporte de adjuntos (FC 959).- Su llamado se realiza por llamado de la receta principal, se han definido las siguientes fases de recepción:

- ✓ Inicio (FC 1021)
- ✓ Alarma (FC 1022)
- ✓ Aspirar (FC 1023)
- ✓ Transporte adjunto silo principal (FC 1024)
- ✓ Transporte adjunto silo auxiliar (FC 1025)
- ✓ Vaciar línea (FC 1026)
- ✓ Aspiración final (FC 1027)
- ✓ Fin (FC 1030).

Despacho de adjuntos (FC 952).- Únicamente se activa en la receta principal, en forma sincronizada de acuerdo a la necesidad de materia prima en la olla de cocción de adjuntos.

- ✓ Inicio (FC 1031)
- ✓ Alarma (FC 1032)
- ✓ Aspirar (FC 1033)
- ✓ Despacho adjunto olla de cocción (FC 1034)
- ✓ Aspiración final (FC 1036)
- ✓ Fin (FC 1040).

3.1.6 Varios

Para la activación secuencialmente de cada válvula en los filtros de mangas 153 (FC 5) y 242 (FC 6) se incluyeron dos bloques de control, en cada uno es posible configurar el tiempo de encendido y apagado de cada válvula, su esquema se encuentra a continuación:

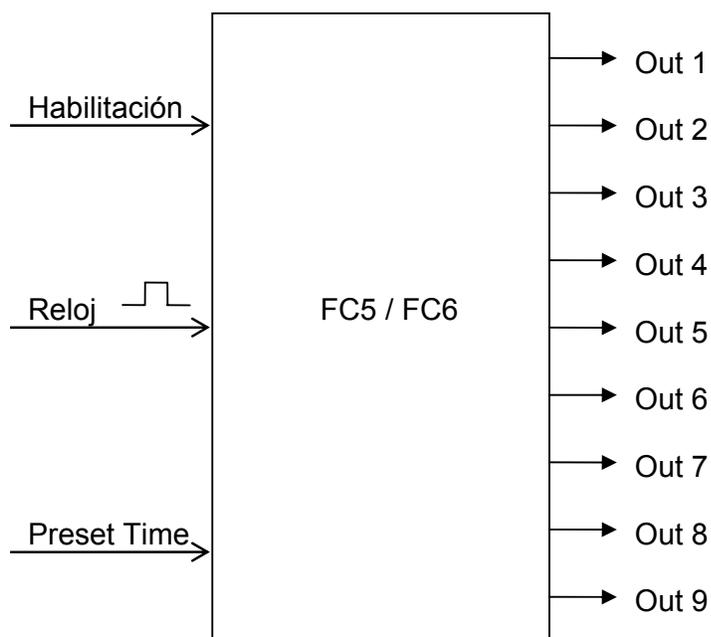


Figura 3.1.6 Bloque secuencial

Para el control de basculas en línea se generaron bloques de envío y recepción de datos con cada esclavo profibus DP, el bloque

DataReciveScale se encarga de la recepción y tratamiento de parámetros como estado de ciclo de la bascula, estado de totalizadores, etc. Mientras que el bloque DataSendScale gestiona en envío de órdenes a cada báscula como parada, vaciado total, arranque, etc.

Para la lectura/escritura de datos entre el CPU principal y estos módulos esclavos se utiliza las funciones DPRD_DAT (SFC 14) y DPWR_DAT (SFC 15) liberada por Siemens.

3.2 Manejo de Lotes y Visualización

3.2.1 Modelo del proceso

Todo proceso en el que se involucre el manejo de lotes se rige y basa su operación en la norma S-88¹⁸, a continuación mostramos un detalle de los principales conceptos aplicados:

Un proceso de manejo de lotes en producción consiste de unidades y conexiones. Todas las unidades que tienen similar capacidad o funcionamiento son agrupadas en una “Clase de Proceso”. Todas

¹⁸ Detalles de la norma S-88 véase ref.: Control de Procesos Cerveceros a través de S-88.

las conexiones entre dos clases de procesos similares son agrupadas a través de “Clases de Transferencias”. Las Clases de Proceso y Clases de Transferencia definen una familia de unidades y conexiones respectivamente. La habilidad para agrupar unidades y conexiones en clases es la esencia de un sistema “Inbatch” utilizado en nuestra aplicación.

La capacidad de procesamiento y transferencia son definidas por las fases, cada fase es una acción independiente y puede contener un único conjunto de parámetros, la configuración de los parámetros de cada fase se basan en los requerimientos de la receta. Cada fase puede ejecutarse automáticamente o en forma manual por el operador, la ejecución automática de una fase funciona por el sistema “Fase Lógica” de control.

3.2.2 Definición de unidades de proceso

Existe cinco elementos involucrados en el modelo del proceso: definición de Unidades, Clases de Proceso (Procesos), Conexiones, Clases de transferencias (Transferencias) y Compatibilidad de Procesamiento. La siguiente guía describe los pasos básicos usados para el desarrollo de un modelo de proceso en general:

- **Identificación de cada unidad y sus atributos.-** Como anteriormente se estudio en el capitulo I, utilizaremos 4 unidades: U1 (recepción de materia prima), U2 (despacho de adjuntos), U8 (Transporte de Malta) y U9 (Transporte de Adjuntos, en el ANEXO 3.2 se detalla cada unidad.

- **Grupos de unidades en las Clases de Proceso.-** Hemos definido tres grupos de unidades: la primera incluye únicamente la unidad de recepción, la segunda las unidades de Transporte de Adjunto y Malta y la tercera el Despacho de Adjuntos conjuntamente con unidades existentes en la receta de cocción (Molienda de Malta, Mezcla y Crudos).

- **Identificar todas las conexiones entre unidades.-** En la U1 existe una independencia total del resto, por este motivo puede ejecutarse según lo crea conveniente el operario y no mantiene conexiones con otras. Para las unidades U8 y U9 existe la dependencia de inicio, estas arrancan en un mismo nivel. Finalmente la U2 se conecta

simultáneamente con las unidades de su grupo y finalizan similarmente.

- **Definir la capacidad de cada clase de proceso (parámetros de cada fase).**- Para cada unidad se consideraron parámetros de control y monitoreo, el detalle de cada parámetro de proceso se muestra en el ANEXO 3.2.

- **Desarrollo de fases lógicas.**- Cada unidad y fase requiere un bloque de control, este se encarga del arranque, parada, pausa y demás señales de estado. En el siguiente capítulo se realiza un estudio de este bloque.

3.2.3 Definición de fases lógicas

La administración y monitoreo de lotes se realiza a través de un bloque denominado fase lógica. Cada fase lógica es una acción de proceso independiente y para nuestro caso reside en el PLC de control. Existen ocho componentes principales de una fase lógica, cada componente incluye: bits de control, bits de estado de fase, control de entradas, control de salidas, parámetros de fórmula,

botones de control, bloqueos y alarmas. El siguiente grafico ilustra su estructura:

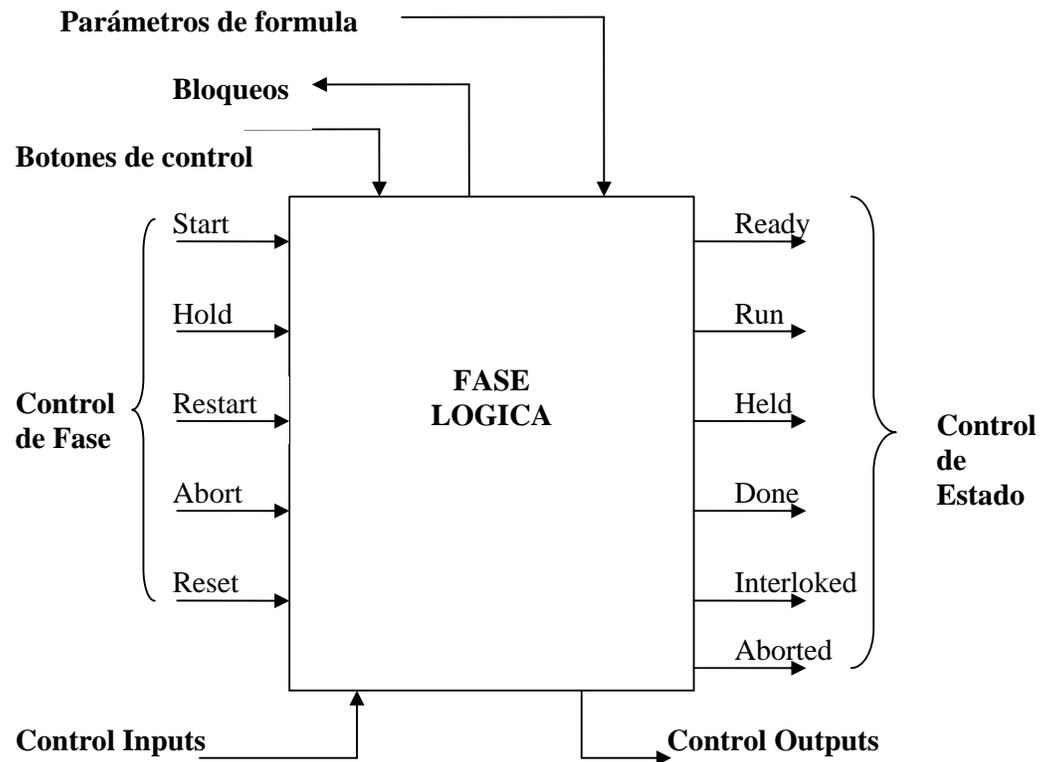


Figura 3.2.3 Fase lógica

- **Botones de Control.-** Habilita el funcionamiento de cada fase lógica en cualquiera de los siguientes modos de operación:

- Manual
- Automático
- Semi-automático.

- **Control de Fase.-** Esta sección de la fase se encarga la manipulación de la fase, a través de las siguientes ordenes permitidas: Start, Hold, Restart, Abort y Reset. Esta sección debe ser incluida para el funcionamiento en modo automático o semi-automático.
- **Bloqueos.-** La sección de bloqueos define las condiciones asociadas al funcionamiento de esta fase. Cada condición de bloqueo es asignada por una memoria discreta asignada a un tag en el sistema de control de batchs.
- **Control de estado.-** La sección de estado de fase define los posibles estados de cada fase: Ready, Run, Held, Done, Interlocked y Aborted. Solo uno de estos modos puede habilitarse al tiempo, esta sección debe incluirse en funcionamiento de modo automático o semi-automático.

El diagrama de estados del funcionamiento de la fase lógica se muestra a continuación:

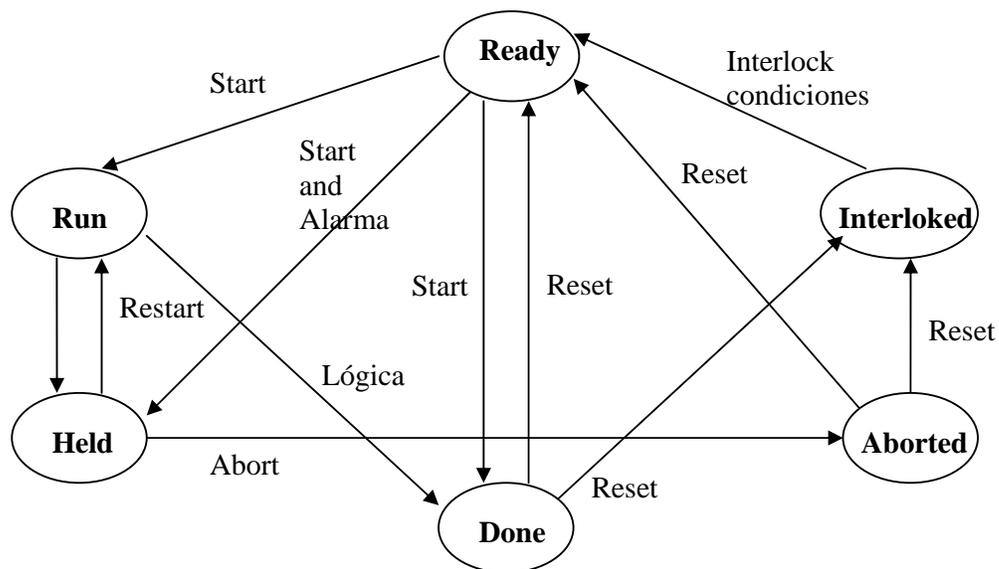


Figura 3.2.4 Diagrama estado fase lógica

Cuando un bloque de control es inactivo por el sistema de control de batchs la fase lógica permanece en estado "Ready", cuando el bloque es requerido para operación el sistema de control de batch envía los parámetros de formula a través del comando "Start". Cuando el comando "Start" es recibido la fase lógica entra a un estado "Run" ejecutando las instrucciones programadas (encendido de equipos, parada, etc). Durante la operación la fase lógica puede cambiar al estado "Held" mediante la orden "Hold" desde el sistema de control de batchs o por alguna condición de alarma registrada.

Durante su estado sostenido “Held” la fase lógica puede retornar a su estado inicial “Run” a través de la orden “Restart” o pasar al estado “Aborted” por medio del comando “Abort” desde el sistema de control de recetas, dando por terminado el bloque de control y retornando al estado inicial “Ready”.

El sistema de control de batches durante la permanencia en estado “Run” monitorea las condiciones de finalización, su activación ocasiona que el bloque pase al estado “Done” provocando de igual manera que el estado “Aborted” el retorno al estado inicial “Ready”.

3.2.4 Definición de variables de proceso

Cada unidad requiere el control y monitoreo de las variables o parámetros más importantes del proceso. Existen tres tipos de parámetros utilizados: ingreso, salida y variables de proceso.

- **Parámetros de ingreso.-** Es usada para definir y monitorear la cantidad de material ingresado en el lote, comúnmente este parámetro es cantidad.

- **Parámetros de salida.-** Se utiliza para definir y monitorear la cantidad de material producido en el lote, como nuestro trabajo consiste en manejo de granos, no existe una producción o transformación de material. Generalmente también este parámetro es cantidad.
- **Parámetros de variables de proceso.-** Son usadas para definir como una fase debe ejecutarse. Comúnmente variables de proceso son: Temperatura, velocidad, flujo, tiempos de ejecución de tareas, tiempos máximos de ejecución y alarmas.

Cada parámetro utilizado en nuestra aplicación muestra su valor actual (actual value) y su valor fijado (target value). En el ANEXO 3.2 se visualiza el estándar utilizado en nuestra aplicación.

CAPITULO IV

IV. COSTOS DE IMPLEMENTACION Y RETORNO DE LA INVERSION

4.1 Costo de equipos

Entre los equipos requeridos para la implementación del nuevo sistema de control constan los siguientes:

- PLC de control
- Terminales de periferia
- Accesorios de redes
- Módulos de telefast de E/S
- Licencias de programación
- Arrancadores e Instrumentación en general
- Molino de martillos
- Nuevos transportadores
- Basculas electrónicas.

En el ANEXO 4.1 se detalla el costo de los equipos de control requeridos para su implementación.

4.2 Costo de materiales

Los materiales considerados en la implementación se listan a continuación:

- Paneles y Sub-paneles
- Materiales Eléctricos y
- Materiales Mecánicos.

El detalle de costos de materiales se muestra en el ANEXO 4.2.

4.3 Costo de mano de obra

Entre los costos de mano de obra se incluyen:

- Mano de obra de instalación y cableado de instrumentación
- Mano de obra en cableado de Paneles y Sub-paneles
- Mano de obra en acometida de alimentación para motores y
- Mano de obra en retiro de equipos de control existentes.

En el ANEXO 4.3 se detallan los costos de los servicios mencionados.

4.4 Costo final

En la tabla 4.4.1 se detalla el costo final de los equipos de control:

Costo equipos	131.509,10
Costo materiales	25.899,49
Costo mano de obra	13.565,50
Costo Balanzas electrónicas	61.190,00
Costo Molino de martillos	54.210,00
Costo filtro de mangas	44.130,00
Costo transportadores	85.342,22
COSTO TOTAL (\$)	330.504,09

Tabla 4.4.1 Resumen de costos

A fin de evaluar la rentabilidad del proyecto se realiza un análisis económico con el uso de las funciones VAN y TIR a detallarse a continuación. Los montos base estimados para el cálculo del tiempo de retorno de inversión se muestran en el ANEXO 4.5, aquí se detalla el beneficio obtenido por el aumento de capacidad, así como los nuevos gastos generados por mantenimiento y depreciación de equipos, se estimó para efectos de calculo una inflación del 2% anual.

Calculo de valor actual neto (VAN).- Esta función nos proporciona el valor actualizado de los rendimientos, es decir, los ingresos

actualizados, para obtener el beneficio habrá que restarle la inversión inicial. Así, el cálculo del VAN será:

$$\text{VAN} = [(\text{flujo caja año } 1) / (1 + ts)^1] + [(\text{flujo caja año } 2) / (1 + ts)^2] + \dots [(\text{flujo caja año } n) / (1 + ts)^n] - \text{inversión inicial.}$$

Donde:

ts = tasa de inversión anual (14 %)

Flujo caja = valor entre los ahorros obtenidos y los gastos generados anualmente, libre de impuestos.

Calculo de la tasa interna de rendimiento de inversión (TIR).-

Esta función calcula la tasa interna de rendimiento. La TIR es el tipo de interés que anula el VAN de una inversión (VAN=0). Se utiliza también para analizar la rentabilidad de una inversión temporal. Como regla general, una inversión cuya TIR sea mayor que el coste de capital, se puede considerar rentable.

Los resultados obtenidos en el ANEXO 4.4 se muestran a continuación:

VAN	10.149.758
TIR	150,09%
Tiempo de recuperación	2 años

Tabla 4.4.2 Resultados VAN y TIR

Del ANEXO 4.4 se puede notar que el tiempo de recuperación de la inversión es de 2 años por lo que podemos considerar un proyecto técnico y económicamente atractivo, cabe mencionar que todos los costos son llevados a valores presentes para efectos de cálculos, se considera además una vida útil de 10 años para los equipos y el 25 % de impuestos sobre estos.

CAPITULO V

V. CALIBRACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO

5.1 Calibración de Nivel

Cada silo de almacenamiento contiene diferentes variedades de grano este factor es determinante para los ajustes de cada sensor de nivel capacitivo instalado, adicionalmente es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones realizadas por el fabricante:

- El producto de ingreso no debe caer directamente sobre la sonda de medición.
- El ángulo de flujo de ingreso del material determina el punto de detección, en la figura 5.1 se ilustra gráficamente.

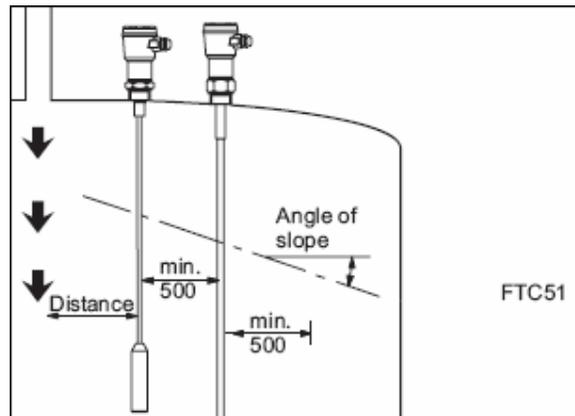


Figura 5.1.1- Instalación de sensores capacitivos

- La distancia mínima entre sondas de medición (sonda de nivel alto y bajo) es 500 mm, a fin de evitar interferencias mutuas.
- La calibración se realiza con el producto a detectar.

Cada instrumento de medición consta de las siguientes partes de calibración que se muestran en la figura 5.1.2.

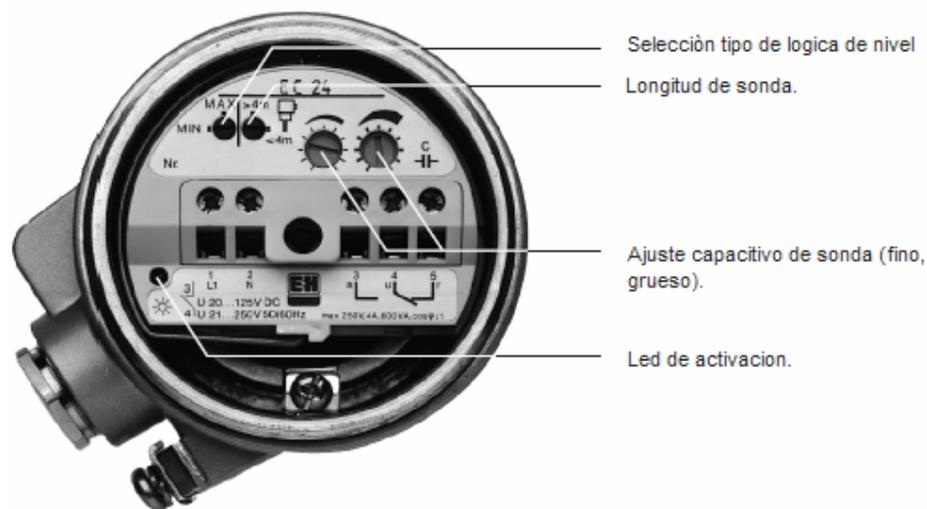


Figura 5.1.2- Calibración de sensores capacitivos

Los pasos utilizados para calibrar el instrumento son los siguientes:

- Seleccionar el tipo de lógica del instrumento, este depende si es utilizado para detección de nivel alto o bajo.
- Seguidamente se hace necesaria la fijación de su longitud, las utilizadas en nivel alto son menores de 4 metros y las de detección de nivel alto mayores a 4 metros.
- Se ajusta el selector de ajuste grueso al valor máximo y secuencialmente se disminuye de rango hasta lograr el encendido del LED de activación.

- Finalmente se realiza un ajuste fino de la capacitancia con la utilización del segundo selector.

5.2 Calibración de Temperatura

Para la calibración de instrumentos de temperatura se emplean baños de temperatura (calibradores de bloque metálico, de baño de arena y de baño de líquido), hornos y comprobadores resistivos.

El calibrador de bloque metálico (Figura 5.2) consiste en un módulo calentado por resistencias con un controlador de temperatura de precisión ($\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$) adecuado para aplicaciones de alta temperatura. En el calibrador hay orificios de inserción para introducir la sonda de temperatura a comprobar.

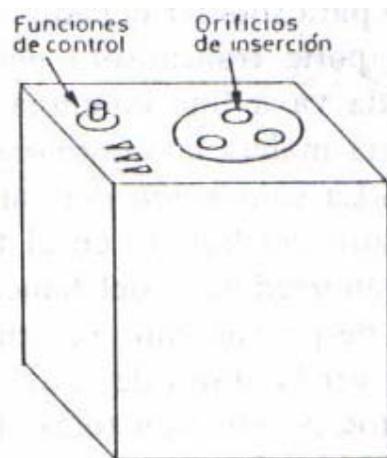


Figura 5.2 Bloque de temperatura

Para medir la señal de un termopar además de configurar el tipo es necesario compensar la temperatura (compensación de unión fría CJC). El modulo transmisor de temperatura utilizado en nuestro trabajo (DAS-8000, marca: DESIN Instruments) cuenta con 7 entradas a termopar y una entrada a PT100. Los parámetros de linealización utilizados para nuestra aplicación son los siguientes:

	Milivoltios	Temperatura
Escala Baja	-4.648 mV	-150°C
Escala Alta	20.872 mV	-400°C

Tabla 5.2 Calibración Termocupla

Para efectos de mantenimiento y ajustes de offset se incluye en el sistema de monitoreo una pantalla de en la que se muestran los valores medidos y los valores ajustados.

5.3 Protocolo de pruebas de funcionamiento de equipos

Toda nueva implementación requiere pruebas de funcionamiento, es así que de acuerdo a los requerimientos de producción se consideran las siguientes etapas de pruebas:

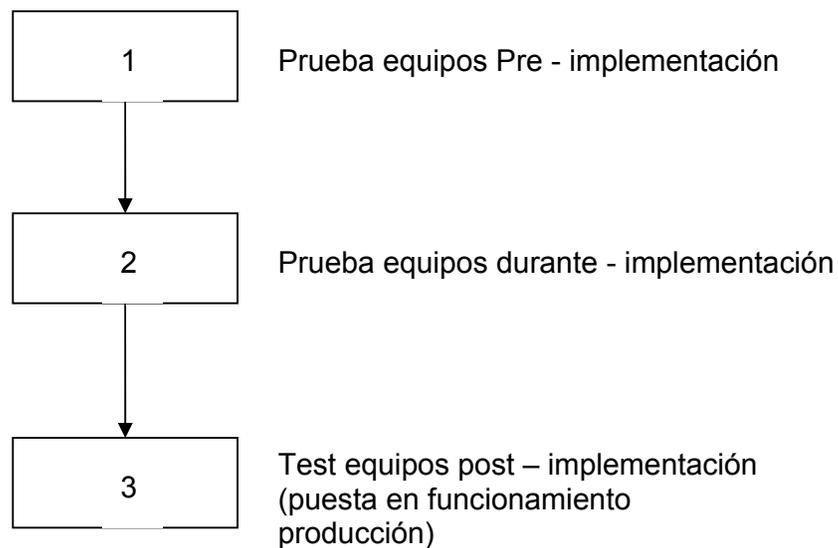


Figura 5.3 Etapa pruebas de equipos

Las fechas y duración de trabajos se detallan en el ANEXO 5.3. Aquí se muestran las etapas de adquisición de equipos, materiales, instalación y puesta en marcha.

Prueba de equipos Pre – implementación.- Una vez terminados los trabajos de campo (instalación y montaje de equipos) es necesaria la verificación de secuencias y correcto cableado. Para esto se realizan las siguientes pruebas:

- Activación de arrancadores (verificación de confirmaciones de contactores y protecciones) sin alimentación 440 Vac.

- Ajuste de tiempos iniciales en arrancadores Y – Delta (tiempo de ajuste nominal 3.5 seg.).
- Verificación de señales de nuevos instrumentos de campo: sensores de nivel y seguridades.
- Verificación de secuencia del programa, comunicación y operación de recetas (se utiliza la simulación de la aplicación).
- Ajuste de tiempos nominales y parámetros de receta.

Prueba de equipos durante – implementación.- Cada dispositivo de mando (motores, compuertas, etc) requieren su verificación de sentido de accionamiento a continuación se detallan las pruebas requeridas:

- Verificación de sentido de accionamiento de compuertas.
- Verificación de sentido de marcha de motores.
- Verificación de bloqueos asignados, en este caso se forzaron las señales de bloqueo.
- Ajuste de tiempos definitivos en arrancadores Y – Delta (tiempo de ajuste nominal 3.5 seg.), se utiliza amperímetro.
- Pruebas de grupos manuales.

Pruebas de equipos post – implementación.- El arranque de la secuencia en producción implica principalmente el ajuste de los siguientes parámetros:

- Ajuste de secuencia de equipos
- Ajuste de tiempos de encendido de equipos
- Asignación definitiva de parámetros de receta
- Calibración de instrumentos y
- Eliminación de fallas.

5.4 Ajuste de tiempos

Cada proceso se considera independiente, es así que cada uno se comporta de manera diferente. Durante la puesta en marcha y funcionamiento de equipos es necesario el ajuste de tiempos de proceso, el siguiente cuadro detalla los tiempos iniciales y los tiempos finales fijados durante la implementación:

Und.	Texto	No.	Fase								
U1	RecMapri			Valores iniciales				Valores finales			
	PLC2	1	Inicio	TMaximo	5 min	Tiempo	2 min	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min
		3	Aspirar	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min
		4	ReSilPri	TMaximo	25 min	Tiempo	20 min	TMaximo	65 min	Tiempo	60 min
		6	VaciarLi	TMaximo	1 min	Tiempo	1 min	TMaximo	1 min	Tiempo	1 min
		7	AspFinal	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min
		10	Fin	TMaximo		Tiempo		TMaximo		Tiempo	
U2	DesAdj										
	PLC2	1	Inicio	TMaximo	1.5 min	Tiempo	1.2 min	TMaximo	1.5 min	Tiempo	1 min
		2	Alarma	TMaximo	0.5 min	Tiempo	0.5 min	TMaximo	0.4 min	Tiempo	0.30 min
		3	Aspirar	TMaximo	8 min	Tiempo	5 min	TMaximo	5 min	Tiempo	3 min
		4	Desadj	TMaximo	60 min	Tiempo	55 min	TMaximo	60 min	Tiempo	52 min
		5	VaciarLi	TMaximo	10 min	Tiempo	5 min	TMaximo	5 min	Tiempo	0.5 min
		6	AspFinal	TMaximo	10 min	Tiempo	5 min	TMaximo	10 min	Tiempo	5 min
		10	Fin	TMaximo		Tiempo		TMaximo		Tiempo	
U8	TranMalt										
	PLC2	1	Inicio	TMaximo	5 min	Tiempo	2 min	TMaximo	1.5 min	Tiempo	1 min
		3	Aspirar	TMaximo	90 min	Tiempo	70 min	TMaximo	85 min	Tiempo	65 min
		4	SiIP Mol	TMaximo	80 min	Tiempo	60 min	TMaximo	80 min	Tiempo	35 min
		5	SiIA Mol	TMaximo	60 min	Tiempo	50 min	TMaximo	60 min	Tiempo	30 min
		6	VaciarLi	TMaximo	10 min	Tiempo	8 min	TMaximo	5 min	Tiempo	3 min
		7	AspFinal	TMaximo	8 min	Tiempo	5 min	TMaximo	3.5 min	Tiempo	3 min
		10	Fin	TMaximo		Tiempo		TMaximo		Tiempo	
U9	TranAdj										
	PLC2	1	Inicio	TMaximo	5 min	Tiempo	2 min	TMaximo	1 min	Tiempo	0.5 min
		3	Aspirar	TMaximo	90 min	Tiempo	70 min	TMaximo	75 min	Tiempo	65 min
		4	SiIP Mol	TMaximo	60 min	Tiempo	55 min	TMaximo	70 min	Tiempo	60 min
		6	VaciarLi	TMaximo	8 min	Tiempo	5 min	TMaximo	5 min	Tiempo	0.5 min
		10	Fin	TMaximo		Tiempo		TMaximo		Tiempo	

Tabla 5.4 Ajuste de Tiempos

Los valores ajustados se obtuvieron de tiempos reales tomados del proceso, la fijación de estos parámetros como valores iniciales no quiere decir que no pudieran modificarse durante su utilización, el

operador se encuentra en la capacidad de tomar la decisión y modificarlos de acuerdo a la disminución o aumento de capacidad de la planta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la industria ecuatoriana y particularmente en la alimenticia la implementación de nuevos sistemas de automatización han generado considerables ahorros en producción, mejora en calidad y demás beneficios ya conocidos por nosotros, esto ha originado una creciente demanda de personal especializado y la creación de herramientas cada vez mas eficientes y rápidas de implementar. Al mencionar nuevos sistemas no se descarta la imposición de soluciones cerradas y raramente conocidas por personal técnico local, por este motivo la presentación de este trabajo propone una nueva herramienta de rápida implementación, fácil uso y aplicable en el manejo de cualquier sistema de control continuo en la industria.

Hemos utilizado como herramienta de control de proceso “como hacerlo” un Controlador Lógico Programable (PLC sin importar la marca) y como sistema de gestión y administración de lotes de producción “que hacer” al software InBatch, que bien puede diseñarse de manera local pero seria otro tema de estudio. El desarrollo de bloques en la programación, las unidades de procesamiento y graficas para el monitoreo se ha realizado pensando siempre en la estandarización, recordemos que en la industria siempre existirán elementos discretos (motores, válvulas) y análogos (variadores,

posicionadores) a controlar. En el siguiente resumen detallamos las principales ventajas obtenidas y recomendaciones de nuestra nueva implementación:

1. Para lograr los objetivos planteados en una nueva solución es necesaria la fijación de metas y una correcta planificación de actividades en la que se incluya el conocimiento del proceso, un levantamiento real de señales de campo y la correcta operación de equipos.
2. Los instrumentos de campo y principalmente los sensores de presencia de grano deben calibrarse en sitio, utilizando los materiales de contacto a operar, en nuestro caso la malta y el arrocillo presentan diferentes capacidades dieléctricas que dependen del tipo de material utilizado y el ambiente que lo rodea (humedad-temperatura).
3. El área de manejo de granos es la primera experiencia utilizando un sistema de manejo de lotes en la planta, hemos logrado que estos procesos adquieran mayor capacidad para adaptarse a los cambios en el mercado.

Por lo que consideramos que el estándar S-88 debe ser tomado seriamente en cuenta para proyectos de automatización de procesos batch en industrias cerveceras o alimenticias, independientemente su tamaño o capacidad.

4. Como resultado de nuestra implementación hemos logrado reducir los tiempos en la transportación de malta y arrocillo en aproximadamente un 50% además de la fácil identificación de fallas y solución de las mismas, esto no sería posible sin la implementación de un sistema de administración de lotes, una detallada visualización de fallas y la necesaria instrumentación de campo.
5. En la dosificación de materias primas hemos conseguido una disminución del error entre la cantidad fijada y real a porcentajes menores al 0,8% en malta y al 0,6% en adjuntos.
6. El tiempo estimado del retorno de la inversión es de aproximadamente dos años que obviamente dependen de

las proyecciones de producción, para efectos de cálculos consideramos un crecimiento normal del 5% anual.

7. En la transportación de cualquier tipo de grano o material que genere polvo se recomienda considerar la utilización de equipos a prueba de explosión o con mínimo de protección IP (recomendamos IP65 como mínimo), además de aterrizar correctamente los paneles, canaletas y equipos.
8. Para una correcta funcionalidad del sistema neumático es necesaria una paulatina revisión de purgas, lubricadores, reguladores y mangueras, recomendamos una ruta de inspección mensual.
9. La rápida difusión de ethernet en las redes domesticas (LAN, WAN, etc) y en la industria a través de Industrial Ethernet nos obligan a tomar precauciones al momento de su implementación en el proceso, aunque toda la información de planta puede viajar por el mismo medio se recomienda su separación a través de la utilización de

gateways y/o restricciones de acceso a direcciones IP desconocidas en los servidores industriales.

10. La inversión en tecnologías de automatización en nuestro país debe considerarse como una estrategia clave de competitividad, no invertir en esta tecnología o sin un plan estratégico claramente definido (meta) puede provocar ser desplazado por la competencia.

11. En caso de avería de cualquiera de los servidores es posible operar manualmente todos los dispositivos garantizando su correcta funcionalidad a través de bloqueos en el encendido de equipos y fijación de set-points manuales.

12. En caso de una falla intempestiva de energía se habilita un bit en el PLC el cual deshabilita todos los dispositivos. Para realizar un re-arranque completo es necesario re-arranar manualmente el panel principal y reconocer las fallas de proceso activadas.

13. Finalmente las nuevas tendencias del momento obligan a la constante actualización de las industrias, al conocimiento de nuevas herramientas de diseño en automatización industrial y a la constante actualización de conocimientos. En nuestro trabajo hemos dado dos pasos importantes la implementación de un sistema robusto de control y otro de gestión de producción, para obtener mejores resultados se recomienda la implementación a futuro de herramientas de transferencia de información de proceso hacia un Sistema de Planificación de recursos (ERP *enterprise resource planning*).

Esperamos que este pequeño aporte a la automatización ecuatoriana, implementado con la ayuda de personal netamente local sea un estímulo para se incentive el diseño de nuevas herramientas de control aplicables a nuestra industria

ANEXOS

- ANEXO 1.1** Diagrama funcional sistema de granos en cocimiento
- ANEXO 1.2** Detalle de entradas y salidas del sistema de manejo de granos.
- ANEXO 1.3** Listado de cargas equipos de fuerza y control torre de granos.
- ANEXO 1.4** Distribución de equipos torres de granos.
- ANEXO 1.5** Sistema de aire comprimido.
- ANEXO 1.6** Diagrama unifilar cocimiento.
- ANEXO 1.7** Detalle de instrumentos de campo.
- ANEXO 2.1** Arquitectura de control torre de granos.
- ANEXO 2.2** Red modbus rtu medición de temperatura e iluminación.
- ANEXO 2.4** Planos eléctricos.
- ANEXO 2.5** Detalle de equipos y materiales.
- ANEXO 2.6** Ubicación paneles de control en torre de molienda.
- ANEXO 2.7** Ubicación tableros cuarto eléctrico.
- ANEXO 3.1** Estructura de programación.
- ANEXO 3.2** Estructura de Inbatch.
- ANEXO 3.3** Instrucciones AWL según nemotécnica alemana.
- ANEXO 4.1** Costo de equipos.
- ANEXO 4.2** Costo de materiales.
- ANEXO 4.3** Costo mano de obra.
- ANEXO 4.4** Calculo del VAN y TIR.
- ANEXO 4.5** Detalle de ahorros anuales por nueva implementación.
- ANEXO 5.3** Cronograma de implantación.

BIBLIOGRAFIA

1. ING. SERGIO SZKLANNY / ING. CARLOS BEHRENDTS, Sistemas Digitales de Control de Procesos 2^{da} Edición. Editorial Control S.R.L.
2. ANTONIO CREUS. Instrumentación Industrial. 6ta edición. Alfa Omega.- Marcombo.
3. ING. FRANCISCO FERRERO, Cervecería Polar C. A. Control De Procesos Cerveceros a través de S-88.
4. PERRY S.MARSHALL Y JOHN S. RINALDI, Industrial Ethernet 2^{da} Edition.
5. InBatch Premier User's Guide, Wonderware for version 8.0, rev. oct. 2001.
6. JOSEF WEIGMANN / GERHARD KILIAN, Decentralization with PROFIBUS DP/DPV1, Structure, configuration and use of PROFIBUS DP with SIMATIC S7, Siemens.
7. MANUAL DE BAJA TENSION, criterios de selección de aparatos de maniobra e indicaciones para el proyecto de instalaciones y distribución. Siemens.
8. SIRIUS, System Manual 2^{da} Edición, Siemens.
9. NEC 1999, Código Eléctrico Nacional.

10. Industrial Measurement Technology, General Specifications, Endress+Hauser. Abril 2005.
11. INDUSTRIAL COMMUNICATION, Comunicación industrial para Automation and Drivers, Siemens.
12. SIMATIC NET Industrial Ethernet, Siemens White Paper, rev.: Oct. 1999.
13. SIMATIC NET Industrial Communication with PG/PC, Siemens, rev.: Nov. 2003.
14. Sistema de automatización S7-400 datos de las CPU, Siemens, rev.: abril 2004.
15. SIMATIC NET Twisted-Pair and Fiber-Optic Networks , Siemens, rev.: mayo 2005.
16. WONDERWARE CORPORATION. Intouch 8.0 Advanced. Training Manual.

REFERENCIAS INTERNET

- <http://www.profibus.com/pb/>
- <http://www.automatas.org/>
- <http://www.modbus.org/>
- <http://www.automation.siemens.com>
- <http://www.schneider-electric.com>
- <http://www.telemecanique.com/en>
- <http://www.plcopen.org>
- <http://olmo.pntic.mec.es/~jmarti50/neumatica/neumatica.html#inicio>
- <http://www.redesafull.com.ar/>
- <http://www.internet.ve/asic/iec1131-3.html>