

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE
AUTOMATIZACIÓN TOTALMENTE INTEGRADA PARA EL CONTROL Y
SUPERVISIÓN DE TEMPERATURAS EN EL PROCESO DE SECAMIENTO EN
LA PLANTA DEL MOLINOS ROA S.A. ESPINAL**



**LUCAS MAURICIO TOVAR CRUZ
CÓDIGO 2002203857**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA – HUILA
2012**

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE
AUTOMATIZACIÓN TOTALMENTE INTEGRADA PARA EL CONTROL Y
SUPERVISIÓN DE TEMPERATURAS EN EL PROCESO DE SECAMIENTO EN
LA PLANTA DEL MOLINOS ROA S.A. ESPINAL**



**LUCAS MAURICIO TOVAR CRUZ
CÓDIGO 2002203857**

**Trabajo de pasantía supervisada presentado como requisito para optar por el
título de Ingeniero Electrónico**

**Director:
Ing. AGUSTIN SOTO
Ing. Electrónico. Docente Universidad Surcolombiana**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA – HUILA
2012**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Neiva, Abril de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mi familia

A la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana por una excelente preparación.

A Molinos Roa S.A. por el respaldo y compromiso adquirido en la realización del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	17
1. DESCRIPCION DEL PROCESO	18
1.1 SECAMIENTO DEL ARROZ	18
1.1.1 Comportamiento de granos	18
1.2 CARTA SICROMÉTRICA	23
1.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE SECANTE	24
1.4 TIPOS DE SECADORAS UTILIZADAS EN MOLINO ROA S.A.	27
1.4.1 Albercas inclinadas	27
1.4.2 Secadoras tipo torre	29
1.5 ALMACENAMIENTO	31
2. SISTEMA ACTUAL	32
2.1 PRIMER PASO DE SECAMIENTO	32
2.2 SEGUNDO PASO DE SECAMIENTO	33
2.3 TERCER PASO DE SECAMIENTO	33
2.4 ALMACENAMIENTO	33
2.5 PARÁMETROS DE SECADO	34
3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	35
3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL	38
3.2 DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS Y TAREAS	39
3.3 VARIABLES A CONTROLAR	40
3.3.1 Condiciones del aire ambiente	41
3.3.2 Condiciones del aire secante	41

3.3.3 Humedad contenida del producto	49
3.3.4 Flujo del producto dentro del secador	49
3.4 DISEÑO SISTEMA DE CONTROL Y SUS COMPONENTES	50

pág.

3.4.1 Nivel de cascarilla	51
3.4.2 Accionamientos	52
3.4.3 Medición de temperatura	55
3.4.4 Equipo de control	56
3.4.5 PID	58
3.4.6 Control descentralizado	60
3.4.7 Equipos de supervisión	61
3.5 STEP 7	63
3.5.1 Administrador SIMATIC	63
3.5.2 HW-Config	64
3.5.3 NetPro	66
3.5.4 Símbolos	66
3.6 WINCC	66
3.6.1 Variables	67
3.6.2 Imágenes	67
3.6.3 Archivos	67
3.6.4 Grafico de tendencias	69
3.6.5 Avisos	69

4. DESARROLLO DEL PROYECTO	71
4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	71
4.1.1 Estación principal	72
4.1.2 Estaciones remotas	72
4.1.3 Estación supervisora	73
4.2 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS	73
4.2.1 Termocuplas	73
4.2.2 Transmisores	73
4.2.3 Actuadores	75
4.2.4 Interruptores de nivel	77
4.2.5 Variadores	79
4.2.6 Instalación racks con protecciones, PLC y ET200M	81
4.2.7 Configuración PLC y ET200M	85
4.2.8 Instalación y configuración HMI	97
4.2.9 Instalación y configuración SCADA	102
5. PLAN DE MANTENIMIENTO	108
6. CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFIA	112
ANEXOS	
ANEXO A	
CONEXIÓN ELÉCTRICA DISPOSITIVOS DE CONTROL SIEMENS	114
ANEXO B	
DATOS SOPORTADOS POR LA CPU	122

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Línea de transición vítrea del arroz.	21
Tabla 2: Lista de parámetros a configurar en el variador	80
Tabla 3: Tipos de datos simples soportados por el PLC	122

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Descripción secado optimo por pasos	21
Figura 2: Carta sicrométrica	23
Figura 3: Turbina centrifuga para secadora de granos	24
Figura 4: Ducteria de aire caliente	26
Figura 5: Quemador de cascarilla	26
Figura 6: Albercas inclinadas	28
Figura 7: Evolución grano partido	29
Figura 8: Panel de torre secamiento, vista frontal y superior	30
Figura 9: Cronograma de trabajo	36
Figura 10: Plano horno de mampostería	42
Figura 11: Carta ejemplo 1	44
Figura 12: Carta ejemplo 2	46
Figura 13: Carta relación set point y condiciones ambientales	47
Figura 14: Global sistema de control	50
Figura 15: Esquema de por pasos de un variador de frecuencia	53
Figura 16: Actuador rotativo	55
Figura 17: Termocupla	56
Figura 18: Transmisor de temperatura	56
Figura 19: CPU 315 2PN/DP de Siemens	58
Figura 20: Control de lazo cerrado con PID	59
Figura 21: ET200M de la familia IM 153 de Siemens	61
Figura 22: Esquema de conexión software desarrollo-hardware	65
Figura 23: Manejo de archivos en WinCC	68
Figura 24: Arquitectura del sistema	71

Figura 25: Conexión eléctrica transmisor	74
Figura 26: Interfaz configuración transmisores	75
Figura 27: Comparación señales de entrada y salida transmisor	75
	pág.
Figura 28: Instalación actuador	76
Figura 29: Conexión eléctrica actuador	77
Figura 30: Instalación interruptor de nivel	77
Figura 31: Conexión eléctrica interruptor de nivel	78
Figura 32: Tablero ya existente para control del horno	79
Figura 33: Esquema grafico parámetros 757 - 760	81
Figura 34: Rack estación principal	83
Figura 35: Asignar dirección a la ET200M	85
Figura 36: Diagrama de bloques configuración PLC	86
Figura 37: Diagrama de bloques del programa para el PLC	88
Figura 38: Ventana de proyecto	89
Figura 39: Ventana de HW-Config	91
Figura 40: Interface PG/PC	92
Figura 41: Configuración en el NetPro	93
Figura 42: Tabla de símbolos	95
Figura 43: Herramienta para la edición del programa	96
Figura 44: Paneles de operador instalados	97
Figura 45: Interfaz del Wincc Flexible	98
Figura 46: Imagen de calibración general y Vista general	100
Figura 47: Configuración de variables y conexiones	100
Figura 48: Lista de avisos y sus clases	101
Figura 49: Lista de usuarios y su configuración	101
Figura 50: Configuración del panel y planificador de tareas	102

Figura 51: Wincc Explorer, lista de variables	103
Figura 52: Administrador de ficheros en almacenamiento de datos	104
Figura 53: Editor de menús y barras de herramientas	105
Figura 54: Graphics designer, edición graficas de tendencias	106
Figura 55: Alarm logging	107
Figura 56 : Conexión eléctrica variador de frecuencia	114
	pág.
Figura 57: Fuente de alimentación Siemens PS307 10 A	115
Figura 58: Conexión entradas con referencia de voltaje	116
Figura 59: Conexión entradas con referencia de corriente	117
Figura 60: Conexión salidas con referencia de voltaje	118
Figura 61: Conexión salidas con referencia de corriente	118
Figura 62: Conexión entradas digitales	120
Figura 63: Conexión salidas digitales	121

GLOSARIO

ARROZ PADDY: arroz con cascara.

BTU: una BTU representa la cantidad de energía que se requiere para elevar en un grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua en condiciones atmosféricas normales.

BOBINA: es un arrollamiento de cable de cobre muy delgado con un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético.

CFM: mide el flujo de un gas o líquido que indica cuánto volumen, en pies cúbicos, pasa a través de un punto fijo en un minuto.

CONTACTOR: un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina de control.

EXACTITUD: se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido. En términos estadísticos, la exactitud está relacionada con el sesgo de una estimación. Cuanto menor es el sesgo más exacto es una estimación.

ETHERNET: estándar de comunicación en redes locales de computadores, normalmente usando par trenzado, coaxial o fibra óptica.

GUARDAMOTOR: es un disyuntor magneto-térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos.

HMI: interface hombre – máquina.

HUMEDAD ABSOLUTA: es la cantidad de agua, medida en peso por unidad de volumen de aire, a una determinada densidad del mismo. Se expresa en unidades como gramos de agua por m³ de aire.

HUMEDAD RELATIVA: técnicamente se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad a la misma temperatura, se puede expresar como decimal o como porcentaje.

PID: método de control Proporcional, integral y derivativo.

PLC: controlador lógico programable.

PRECISIÓN: se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión. Una medida común de la variabilidad es la desviación estándar de las mediciones y la precisión se puede estimar como una función de ella.

PROFIBUS: estándar de comunicaciones para bus de campo, usando un cable de solo un par de hilos.

PUNTO DE ROCIO: la temperatura debajo de la cual el vapor de agua en el aire, comienza a condensarse.

PRESIÓN DE VAPOR: la presión de vapor, es la presión parcial que ejercen las moléculas de vapor de agua presentes en el aire húmedo. Cuando el aire está totalmente saturado de vapor de agua, su presión de vapor se denomina presión de vapor saturado

RACK: un rack es un armario o estantería destinada a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones.

SCADA: software diseñado especialmente para la adquisición de datos y control de supervisión.

SEÑAL ANÁLOGA: señal que puede ser representada por una función matemática continua, variable en amplitud y periodo.

SEÑAL DIGITAL: una señal es digital cuando sus valores se representan con variables discretas en vez de continuas con solo dos valores posibles. En el caso de la informática se utilizan ceros y unos.

TEMPERATURA AMBIENTAL: es la que se mide con un termómetro corriente, de bulbo seco y se expresa en grados Centígrados o Fahrenheit.

TEMPERATURA BULBO SECO: la temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común.

VARIADOR ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD: dispositivo empleado para variar las velocidad de giro de un motor eléctrico.

VENTILADOR CENTRÍFUGO: ventilador en el que la entrada de aire es perpendicular a la salida.

RESUMEN

Molino Roa S.A es una empresa cuyo objetivo social esta principalmente en la explotación de la Actividad Agroindustrial en todas sus modalidades, especialmente en lo relativo a la compra, procesamiento y venta de arroz. Actualmente se presenta una capacidad de producción desde las plantas en Neiva, Ibagué, Villavicencio y Espinal, mayor a 80.000 kilogramos/hora de arroz blanco excelso, que en su totalidad es empaquetado en diversas presentaciones. Esta actividad en su conjunto ha sido desarrollada con éxito hasta lograr mediante canales de distribución propios la ubicación actual, en la que Molino Roa S.A. esta posicionada como una de las empresas de mayor empuje dentro del gremio, tanto a nivel departamental, nacional e internacional.

La empresa tiene como objetivo principal y política de calidad procesar el mejor arroz con los más altos estándares de calidad, tecnología de punta y recurso humano calificado para lograr la satisfacción integral del cliente y consumidor en el marco del mejoramiento continuo de sus procesos, partiendo de aquí se nota la importancia que la empresa da a los proyectos que puedan mejorar su rendimiento tanto en capacidad de producción como en la calidad de sus productos. En este caso se presenta la oportunidad de instalar un sistema que controle automáticamente las variables más importantes en la etapa de secamiento del arroz, como lo son la temperatura y la humedad

Como en todo proceso, un buen primer paso asegura un mejor éxito en los siguientes, el resultado final será de mucha mejor calidad, productividad y rendimiento, características fundamentales en el procesamiento del arroz. Aquí entran en juego las nuevas tecnologías, la capacidad de medir, controlar y supervisar de manera continua, fiable y lo más sencilla posible a un proceso que durante mucho tiempo se ha hecho de manera manual tanto la toma de datos, transporte y almacenamiento como la configuración y manejo de los equipos existentes.

Una vez desarrollado el proyecto la empresa Molino Roa S.A. contará con un sistema de automatización totalmente integrada para el control del flujo de calor en el proceso de secado de arroz paddy. Este sistemas es una herramienta cada vez más necesaria en todos los aspectos industriales que tengan que ver con procesos complejos, repetitivos y que necesitan un monitoreo continuo, entonces el proyecto no solo simplificará el trabajo necesario actualmente, también beneficiará el nivel de producción y rendimiento del arroz obteniendo excelentes resultados a corto plazo para la economía de la empresa.

ABSTRACT

Molino Roa S.A is a company whose social objective is mainly aimed to the exploitation of Agroindustrial Activity in all its modalities, especially in everything related to the buying, processing and selling of rice. At present, there is a production capacity from the plants in Neiva, Ibagué, Villavicencio and Espinal, higher than 80.000 kilos/hour of high quality white rice, which is all packed in various presentations. This activity as a whole has been developed successfully until achieving through own distribution canals the present location, in which Molino Roa S.A is ranked as one of the strongest companies within the guild at departmental, national and international level.

The company has as main objective and quality policy to process the best rice with the highest standards in quality, cutting-edge technology and qualified human resource to achieve full satisfaction for the client and consumer framed under the continuous improvement of its processes, this way we can see the importance that the company gives to the projects that can improve its efficiency as much as in production capacity as in the quality of its products. In this case there is the opportunity to install a system that controls automatically the most important variables in the stage of the rice drying, like the temperature and moisture.

Like in all the process, a good first step guarantees a better success in the next ones; the final result will have a lot more quality, productivity and performance, essential features in rice processing. Here is where the new technologies get involved, the ability to measure, control and oversee in a continuous, reliable and simplest possible way to a process that during a lot of time has been done manually as much as in data collection, transport and storage as in configuration and management of the existing equipment.

Once the project is developed, the company Molino Roa S.A will have a system of totally integrated automation to control the heat flow in the drying process of paddy rice. This system is each time more necessary as a tool in all the industrial aspects related to complex, repetitive processes that need continuous oversee, then the project will not only simplify the work needed today, it will also benefit the production level and efficiency of rice obtaining excellent short-term results for the economy of the company.

INTRODUCCION

El desarrollo industrial de la región va de la mano con la evolución de nuevas tecnologías aplicables a sus procesos y con la formación de nuevos profesionales en diferentes campos para aplicarla, viéndose beneficiadas ambas partes durante el proceso. En este caso la empresa Molinos Roa S.A. necesita mejorar el rendimiento de su producción mediante un proyecto innovador en la región y funcional, con el desarrollo de la tecnología de producción, se diseñara un sistema que controle de forma automática la temperatura y el tiempo de secado a través de la climatización variable de una zona condicionada para tal efecto.

Recibo, secamiento, almacenamiento, molino, empaquetado y despacho son las principales etapas en el procesamiento de arroz, al conocerlas todas se tiene una mejor visión de lo importante que son los buenos resultados en la etapa de secamiento ya que el correcto manejo de factores como el tiempo, la temperatura y la humedad durante esta, definen en gran parte el rendimiento y clase de producto que tendremos para el despacho.

Será fundamental tener buenas bases teóricas y prácticas, contar con asesoría por parte de los posibles involucrados antes y después de la realización para la etapa de diseño del proyecto, llevar a cabo un completo estudio sobre los procedimientos requeridos en la planta para el secado del arroz, analizando los pasos fundamentales y sus posibles problemas, investigar y decidir que dispositivos (software y hardware) pueden utilizarse y cumplen con todos los requisitos para el desarrollo del proyecto, capacitarse en el manejo avanzado de los mismos para poder aprovechar al máximo sus prestaciones, contar con el dispositivo correcto para cada aplicación sin dejar a un lado todas las normas establecidas para el diseño e instalación de este tipo de proyectos. Todo esto con el fin de resolver los problemas existentes en el sistema actual en cuanto al manejo del producto y la maquinaria involucrada en los puntos donde se realiza directamente el secado. La comunicación, almacenamiento y el procesamiento de datos serán los tres puntos principales a desarrollar.

La interfaz debe ser lo más amigable posible para el usuario en cuanto a su visualización y manejo, sistemas de fácil comprensión pero todo esto sin dejar de prestar ningún servicio.

Los datos que se obtengan durante el montaje y las primeras experiencias de su aplicación, permitirán el perfeccionamiento del sistema influyendo de forma directa en la calidad y costos de producción.

1. DESCRIPCION DEL PROCESO

1.1 SECAMIENTO DEL ARROZ ^[1]

Antes de comenzar se debe aclarar que existe una gran cantidad de tipos de grano de arroz pero todos estos se pueden tomar como arroz tradicional de la región ya que cuentan con características de composición muy similares.

Para entender la necesidad del proyecto se debe dar una introducción a los equipos y métodos que se utilizan actualmente para el secado. Existe una gran diversidad de métodos de secamiento que realmente vienen siendo simplemente la combinación de tres fundamentales, por torres, albercas y lechos; más adelante se explicaran solo los utilizados por Molinos Roa S.A. Espinal. El tipo de grano, su estado y el lugar donde se realiza el proceso influyen notoriamente en la escogencia de dichos métodos pero como se había dicho anteriormente, en Colombia estas son variables comunes para los lugares donde se realiza el proceso.

Los métodos y equipos de prelimpieza y transporte no se analizan a profundidad ya que no se hará ningún tipo de cambio o control sobre ellos.

1.1.1 Comportamiento de granos. Los granos efectúan procesos de respiración que consisten en descomponer los almidones en bióxido de carbono, agua y calor. Factores como la temperatura ambiente, la humedad, el movimiento del aire circundante e intergranular, la forma y tiempo de almacenamiento, entre otras influyen directamente en estos cambios que pueden llegar a afectar de manera crucial al producto. Las siguientes son las condiciones ideales para almacenar granos en buenas condiciones:

- Baja humedad del arroz y el ambiente.
- Baja temperatura del arroz y el ambiente.
- Ausencia de insectos.
- Almacenamiento a granel en silos.

- Bajo contenido de impurezas.[1] CASTILLO NIÑO, Alvaro. GAVIRIA LONDOÑO, Jaime. Molinería de arroz en los trópicos. Primera edición, Bogotá, 2000. p. 33-128.

Las alteraciones que se presentan comúnmente en el grano están relacionadas con cambios en su estructura, apariencia y con modificaciones en su composición química. Se presenta disminución en el peso del grano, en los procesos de deshidratación originados en el intercambio de vapor de agua con el medio ambiente y en el proceso de descomposición de los almidones en la respiración.

La humedad del grano es el factor de mayor importancia que debe ser controlado después de la cosecha, a mayor humedad del grano mayor generación de calor. Este calor proviene de la aceleración de los procesos de respiración del grano acumulándose en mayor medida al interior del grano y menor medida en el aire intergranular. Pocas horas después de la cosecha la temperatura del grano comienza a aumentar y la humedad del espacio intergranular a saturarse.

La presión de vapor del agua contenida en el grano y de la contenida en el aire, tienden a estar en equilibrio, entonces la humedad del aire circundante afecta la del grano y con ella se afecta la tasa de respiración.

El contenido de agua en el grano es variable de acuerdo a las circunstancias en que se encuentre, por ejemplo, cuando el contenido de humedad del arroz es de 24%, se está indicando que en 100 gramos de arroz se tienen 24 gramos de agua y 76 de materia seca.

El contenido de humedad se utiliza como criterio para estimar la capacidad de conservación de un grano almacenado. Para el arroz una humedad inferior al 13% impide el crecimiento de hongos y evita el auto calentamiento en casi cualquier circunstancia climática externa, correspondientes a humedades menores al 75%.

En los granos la humedad se encuentra presente en cuatro formas principales:

- Humedad superficial: depositada por lluvias recientes o por condensación de humedad del aire producida por cambios de temperatura.
- Humedad adsorbida: ocupa espacios intergranulares y poros. Es humedad superficial que a penetrado en el grano o de humedad de formación que aun no ha desaparecido con el proceso de maduración.
- Humedad absorbida: unida más íntimamente, en forma coloidal, a la sustancia del grano.

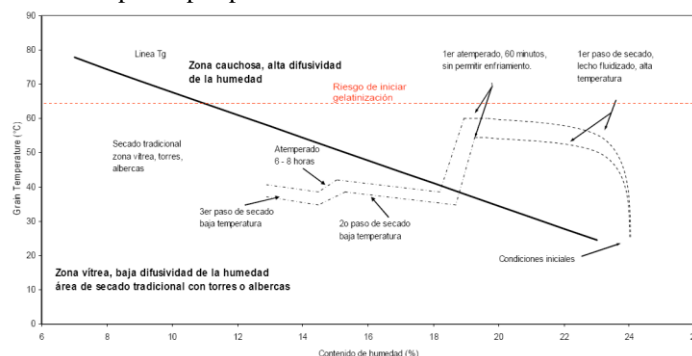
- Humedad de constitución: unida a la materia seca en forma química y no es posible removerla sin desnaturalizarlo.

Para que los granos se puedan almacenar en buenas condiciones es necesario reducir su humedad hasta un nivel seguro en el cual el grano tenga una baja tasa de respiración que no favorezca el desarrollo de hongos. Usualmente la humedad segura del arroz paddy se encuentra alrededor de 12.5% y 13.5% de humedad. Para obtener los mejores resultados en rendimiento de grano entero, es práctica común que el arroz se coseche con humedad de 18% a 22%. Este elevado nivel produce una alta tasa de respiración que induce calentamiento rápido del grano, con riesgo de fácil daño. Para conservarlo el arroz debe ser secado hasta un nivel de humedad seguro, por medios artificiales o naturales. La velocidad de intercambio de humedad entre grano y aire, depende de la magnitud de la diferencia entre la humedad relativa del aire y la humedad relativa de equilibrio que corresponde a la humedad del grano y, además, depende del grado de contacto de los granos individuales con la atmosfera que los rodea.

Cuando la temperatura y la humedad del arroz son bajos, la amilosa, uno de los almidones presentes en el grano, es dura y frágil, como vidrio, tal como sucede con el plástico, que también se endurece con bajas temperaturas. Cuando el arroz se calienta hasta alcanzar una temperatura determinada, la textura de la amilosa cambia de vítrea a cauchosa o elástica, tal como sucede también con el plástico. Este proceso se llama la transición vítrea y la temperatura a la cual la transición ocurre varía de acuerdo con la humedad del grano.

Ensayos hechos con las variedades norteamericanas Cypress y Bengala, muestran que, cuando los niveles de humedad se encuentran entre 10% y 15%, las temperaturas de transición se encuentran entre 35° y 46°C, pero cuando el contenido de humedad es aproximadamente de 20%, la transición se realiza a una temperatura de aproximadamente 30°C. En consecuencia el arroz es mucho más afectado por cambios en su temperatura durante la cosecha y en el primer paso de secado, que en etapas posteriores.

Figura 1. Descripción secado optimo por pasos



Cuando se crea un gradiente de humedad demasiado grande, si una parte del grano ha sufrido la transición, pero la otra no lo ha hecho, una parte del arroz quiere hacer una cosa y otra parte quiere hacer otra, y, como resultado, se crea una tensión que puede generar una fisura, la cual, de acuerdo con su magnitud, puede conducir a la quebradura del grano durante la molienda.

Tabla 1. Línea de transición vítrea del arroz.

Contenido de humedad (% base húmeda)	Temperatura del grano (°C)
7	77,8
8	74,4
9	71,1
10	67,8
11	64,4
12	61,1
13	57,8
14	54,4
15	51,1
16	47,8
17	44,4
18	41,1
19	37,8
20	34,4
21	31,1
22	27,8
23	24,4

En todo momento se debe evitar que la temperatura del grano sea superior a 37° o 38°C. Si la temperatura es superior debe reducirse la del aire de secado, Normalmente las temperaturas del aire que conducen a temperaturas de grano de 38°, oscilan alrededor de 55° a 60°C.

Se denomina dispersión de la humedad la variación de la humedad de los granos individuales con relación al promedio. El grano seco (12.5% de humedad), con desviación estándar cercana a 1.0, puede presentar dificultades en los procesos de descascare, separación de paddy y pulido por las diferencias de densidad y resistencia mecánica que le dan las diferencias de humedad.

La diferencia de humedad que se presenta entre las capas superior e inferior en las secadoras de alberca puede llegar a 2%, y aun más en casos extremos. La

aplicación de mayor volumen de aire reduce la disparidad, al ampliar el frente de secado.

Es necesario tener en cuenta que la velocidad de secado disminuye gradualmente a medida que la humedad del aire desecante aumenta. Cuando el grano está húmedo puede soportar un aire más caliente, pues de esa manera se producirá una pérdida de humedad más rápida, y el grano no se calentará demasiado, pues al evaporar agua se produce una absorción de calor y por ende un mayor enfriamiento.

En cambio, cuando el grano ha perdido buena parte de su humedad, ya no hay tanta evaporación de agua, y el grano puede calentarse excesivamente con el consiguiente deterioro de su calidad, lo que puede suceder en la parte inferior de la torre de secado.

Cuando se seca un grano ocurren simultáneamente dos procesos diferentes: transferencia de calor para evaporar el agua, y transferencias de masa en forma de humedad interna que se difunde, de líquido que se evapora y remueve de la superficie. Los factores que gobiernan cada uno de estos procesos determinarán la velocidad del secado, la cual tiene tres etapas, la primera es la etapa de calentamiento en la que la velocidad de evaporación aumenta según el grano se va calentando. En la segunda etapa el secamiento tiene lugar en la superficie del producto que se mantiene húmeda en su totalidad, en esta etapa la velocidad es controlada por las características del aire desecante. La última etapa donde la superficie deja de permanecer completamente húmeda, la velocidad decrece y cualquier intento que se haga por acelerar el secamiento, utilizando temperatura más elevada o mayor volumen de aire, produce daños internos al obligar a la humedad a desplazarse más rápidamente.

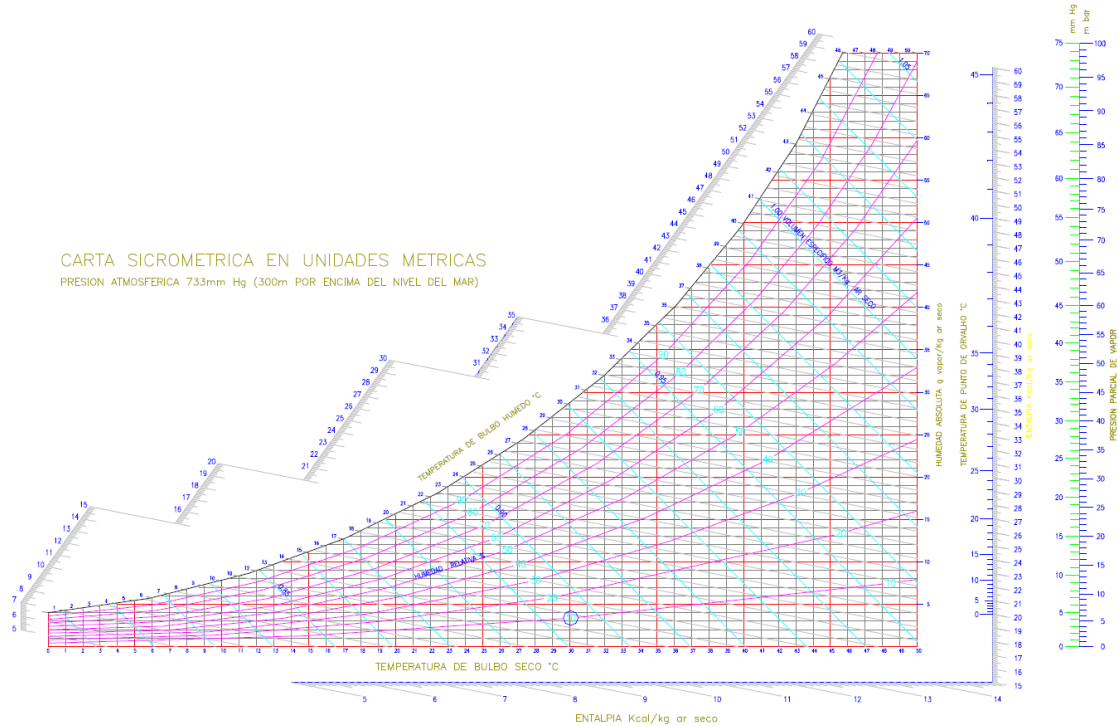
El manejo mecanizado del grano, en las plantas de acondicionamiento produce golpes que contribuyen a quebrarlo, especialmente si ha sido sometido a secado rápido y con alta temperatura que aumenta su fragilidad. Los sistemas de tuberías demasiado inclinados, sin amortiguadores adecuados, contribuyen también al aumento de las quebraduras. Durante el almacenaje las impurezas tienden a almacenar humedad del grano circundante, formando puntos calientes.

1.2 CARTA SICROMÉTRICA ^[1]

La carta sicrométrica es una representación gráfica de las ecuaciones que, para una presión atmosférica determinada, relacionan las lecturas de temperatura con termómetros de bulbo seco y de bulbo húmedo, con propiedades del aire como humedad relativa, humedad absoluta, cantidad de calor contenida, etc. Esta

herramienta es fundamental en el análisis y toma de decisiones para el proceso. En el diseño del sistema de control se explica cómo se maneja y que ventajas se pueden obtener al utilizarla para esta aplicación.

Figura 2. Carta sicrométrica.



[1] Ibid.

1.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE SECANTE [1]

El aire secante es aquel que se encarga de quitar los puntos de humedad necesarios en cada paso del proceso, el sistema para transportarlo se divide en tres partes principales, las turbinas o ventiladores, el horno y los medios para su transporte. Se denomina sistema de aire, un conjunto organizado de elementos para llevar aire de forma controlada de un punto a otro.

El ventilador proporciona al sistema la energía necesaria para inducir el flujo del aire al incrementar la presión total del mismo entre sus puntos de entrada y salida.

La capacidad de un ventilador dado, se expresa normalmente en términos de flujo de aire que puede producir al vencer presiones determinadas. La eficiencia de la turbina será la medida de la capacidad que tenga de aprovechar la potencia entregada por el motor eléctrico al convertirla en flujo de aire y un diferencial de presión dentro de la secadora y fuera de esta.

Figura 3. Turbina centrífuga para secadora de granos.



[1] Ibid.

En el proceso de secado el flujo de aire generado por los ventiladores, cumple tres funciones principales:

- Transportar calor hasta el grano.
- Remover humedad evaporada.
- Ayudar a la combustión de los quemadores.

La cantidad de calor que se puede transportar a una determinada temperatura depende directamente del volumen de aire. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{BTU/hora} = \text{CFM} \times \text{incremento de T} \times 1,08$$

CFM: Volumen de aire que se desea calentar (pies cúbicos por minuto).

T: Temperatura deseada (Fahrenheit).

La resistencia al paso del aire, que genera mayor o menor presión estática, en un sistema, tiene dos componentes principales:

- Resistencia originada en la fricción entre el aire y las superficies internas de los componentes del sistema.
- Resistencia originada en las turbulencias que se producen por cambios abruptos en dirección y distancia, entre las partes del sistema.

En todo ducto metálico, utilizado como medio de transporte que tenga flujo de aire interiormente, la velocidad varía desde un valor cercano a cero en las paredes, hasta un valor máximo en las partes centrales. La transferencia de energía entre los puntos de alta y baja velocidad causa resistencias al flujo del aire. Esta resistencia varía en forma aproximadamente lineal con la longitud del conducto y con el cuadrado de la velocidad del aire.

Para calentar el aire ambiente se usan hornos diseñados especialmente para esta aplicación. Los hay de dos tipos, de fuego directo o indirecto. Los de fuego directo tienen contacto con el aire que se requiere calentar, mientras que los indirectos se encargan de calentar una superficie determinada por donde atraviesa el aire a tratar, ambos cuentan con un sistema de almacenamiento de combustible, uno de alimentación, otro de inyección de aire para combustión y por último el encargado de extraer los residuos. Estos sistemas se explicaran detalladamente mas adelante ya que el horno es una variable fundamental a controlar en el proyecto.

Figura 4. Ducteria de aire caliente.



Figura 5. Quemador de cascarilla.



Los hornos utilizan como combustible la cascarilla de arroz, el calor de combustión de un kilo de cascarilla de arroz, con eficiencia del 100%, es de aproximadamente 12700 BTU a 13900 BTU (3200 a 3500 Kilocalorías). Quemadores de buen rendimiento pueden obtener entre 50% y 60% del calor de combustión.

1.4 TIPOS DE SECADORAS UTILIZADAS EN MOLINOS ROA S.A. ^[1]

1.4.1 Albercas inclinadas. Las secadoras pueden considerarse sistemas de aire especializados, que succionan aire de un espacio abierto y lo descargan, después de cumplir su función de remover y transportar humedad, en otro espacio abierto.

Una secadora de granos está formada por los siguientes elementos principales:

- Entrada de aire.
- Ventilador.
- Puertas de conductos.
- Cámaras.
- Recipiente para grano.

En la región la mayor parte de la capacidad instalada de secado de arroz, está constituida por las denominadas “albercas”, que utilizan pisos de malla perforada, para forzar aire a través de capas de grano, de espesor que oscila entre 60 y 150 cm.

1] Ibid.

Figura 6. Albercas inclinadas.



El tiempo de secado en las albercas depende principalmente de las condiciones ambientales, de la temperatura del aire de secado y del volumen de aire aplicado por una determinada cantidad de grano. Como norma general se recomienda que el volumen de aire no sea inferior a 10 CFM/Bushell de grano ($14 \text{ m}^3/\text{min}$ por tonelada de grano).

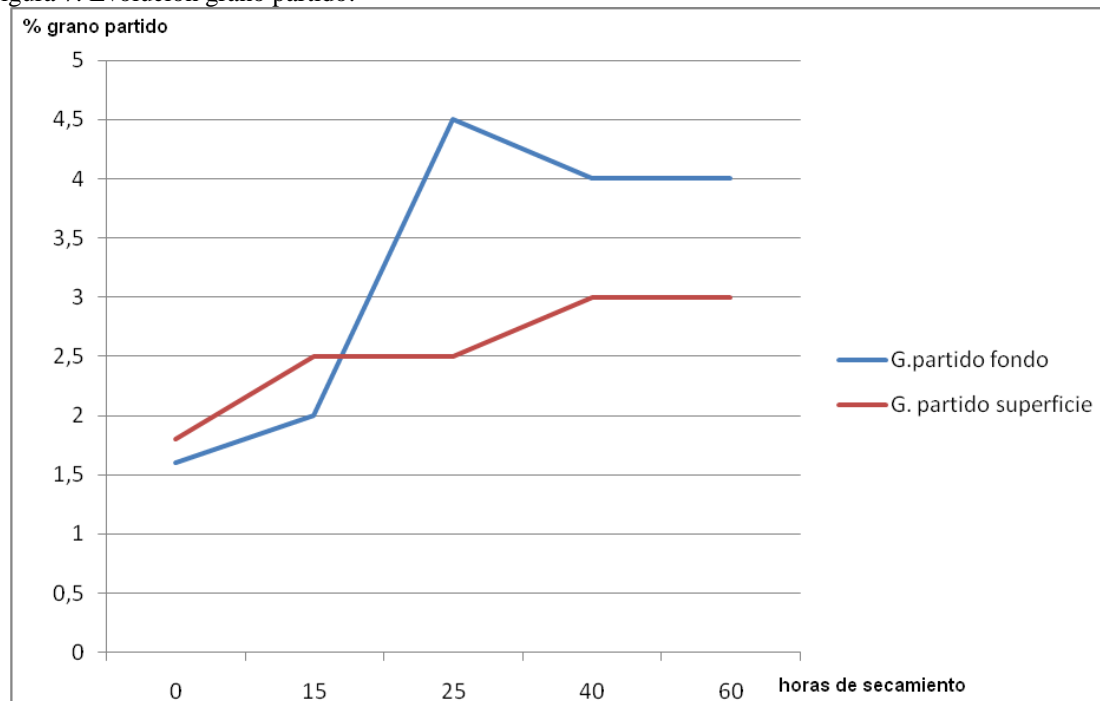
El sostenimiento de una temperatura de secado relativamente constante es de mucha importancia, sobretodo en lugares donde se presentan cambios bruscos en la temperatura y humedad ambiente o cuando estas difieren mucho entre el día y la noche.

Áreas reducidas para desfogue del aire que ya ha atravesado el grano, introducen resistencia adicional al ventilador y, además, dificultan la evacuación del aire húmedo. Las albercas inclinadas se construyen generalmente con pendientes que varían entre 33 y 34 grados.

Ya que con el mismo túnel, se abastece de aire a varias cámaras, especialmente en el tramo entre la descarga del ventilador y la primera puerta, las velocidades de entrada deben mantenerse inferiores a 2.000 pies por minuto (600 metros por minuto), con el fin de disminuir las diferencias entre la cantidad de aire que recibe la primera alberca y las siguientes. La explicación se encuentra en la teoría de los orificios hidráulicos y en la formación de la llamadas “venas contractas”. Se deben evitar las contracciones o expansiones abruptas, las curvas demasiado fuertes, las puertas innecesarias, etc. El sostenimiento de una temperatura constante en el secado es de mucha importancia en casos donde las condiciones ambientales sufran cambios relativamente significativos.

La pérdida de humedad en las capas de arroz difiere de manera importante de acuerdo con la profundidad y con el tiempo de secado. Al finalizar el proceso, inevitablemente, se presentaran diferencias de humedad y porcentaje de grano partido entre el arroz situado en la parte superior e inferior. Esta diferencia de la humedad promedio es normalmente de 1.5 a 2 puntos.

Figura 7. Evolución grano partido.



1.4.2 Secadoras tipo torre. Las secadoras verticales, también llamadas "tipo torre", se caracterizan por el recorrido del grano, desde arriba hacia abajo, y pueden ser clasificadas en varios grupos, de acuerdo al tipo de flujo.

Las secadoras de flujo mixto, también llamadas de "caballetes", tienen como elemento principal, en las zonas de secado y enfriamiento, un conjunto de conductos en forma de V invertida, por donde circula el aire caliente o frío. Los componentes básicos que componen una secadora de torre son los siguientes:

- Recipiente de granos y un tanque de reserva superior. La capacidad de estos recipientes puede oscilar entre 10 y 100 toneladas.
- Ventiladores centrífugos o axiales.
- Mecanismo de descarga de grano de velocidad variable.
- Sección de enfriamiento: generalmente se utiliza aire ambiente, se ajusta por medio de compuertas desde el exterior.

Figura 8. Panel de torre secamiento, vista frontal y superior.



En las secadoras de torre se puede encontrar una alta eficiencia térmica consiguiendo bajar varios puntos de humedad en poco tiempo requiriendo un bajo consumo de electricidad comparado con otros métodos, además debido a su construcción funcionan también como mezcladoras para bajar el porcentaje o nivel de dispersión del grano y ocupan poco espacio.

Entre las desventajas de este tipo de secadoras están:

- La contaminación que producen al expulsar el aire que pasa a través de estas ya que sale con partículas de polvo y vano.

- Exigencias en su manejo y personal capacitado para cumplirlo ya que cualquier error puede afectar en poco tiempo la calidad del grano y a la misma instalación.
- Se necesita de una gran inversión para construir las y es muy complicado ampliar su capacidad.

1.5 ALMACENAMIENTO

Una vez secado el arroz cumpliendo con todas sus etapas y parámetros se lleva a la etapa de almacenamiento. Se le puede llamar etapa ya que puede llegar a ser de unos pocos días a varios meses, además durante este periodo no se deben descuidar muchos factores que pueden llegar a dañar la calidad del grano por ello se necesitan de equipos o montajes especializados para tal fin.

En los silos de almacenamiento se pueden encontrar diferencias de humedad en diferentes zonas después de algún tiempo de almacenaje. La humedad se desplaza de los lados calientes a los fríos, ya sea que la pared del silo se encuentre o más caliente o más fría que la masa del grano. Si la masa tiene una temperatura superior a la del silo, el aire que ocupa el espacio intergranular ascenderá, mientras desciende el de la parte periférica para reemplazarlo. Si por el contrario la temperatura ambiente es superior a la del grano, el movimiento de humedad se invertirá presentándose el deterioro de grano en la parte inferior del silo. La humedad tiende a desplazarse del sitio de mayor presión al de menor.

En el ambiente de las zonas de producción y almacenaje de granos están presentes esporas de hongos. Cada especie de hongo tiene su ecosistema de desarrollo óptimo. Los hongos son responsables de las mayores dificultades y deterioros de los granos almacenados.

Durante el llenado de los grandes el polvo tiende a flotar sobre la superficie, cuando se suspende el polvo se decanta. Si, posteriormente, el llenado se continúa, la presión del nuevo grano compacta el polvo e impurezas formando capas que impiden el paso del aire de eventuales aireaciones.

2. SISTEMA ACTUAL

2.1 PRIMER PASO DE SECAMIENTO

Este se hace por medio de una torre de flujo continuo, donde se le inyecta al grano aire caliente. Se deben tomar muestras del grano tanto en la entrada como en la salida y analizar el porcentaje de humedad, el porcentaje de impurezas y mantener bajo control la temperatura, estos resultados se registran en el formato "Control en torres de secamiento torre 1", en el cual simplemente una tabla de Excel en la que se anota la hora en la que se toma la muestra, el valor de la humedades de laboratorio y la temperatura mediante una sonda portable que se introduce en la secadora. Luego, el grano es llevado a unos silos donde el arroz reposa de 6 a 12 horas.

El aire caliente proviene del horno el cual es alimentado por cascarilla de arroz, luego este fluye a través de un circuito de ductos metálicos hacia cada una de las torres y albercas (actualmente existen 3 hornos que alimentan todos los sectores de secamiento). Cada sector importante se encuentra equipado con turbinas que se encargan de hacer fluir correctamente el aire por los ductos y hacia las torres o albercas según sea el caso. Para controlar la temperatura del aire en todos los pasos se pueden tomar varias decisiones, que son:

- Compuertas manuales en los ductos que se abren o cierran para aprobar o impedir la llegada de aire caliente a las turbinas.

- Control de temperatura manual y a "ojo" de los hornos. Se varía la cantidad de cascarilla y aire de entrada al horno, características que controlan la llama que este puede producir.

- Apagar o encender manualmente las turbinas.

Cuando la temperatura de trabajo no es suficiente y la humedad de salida no es la apropiada se pueden tomar dos medidas alternativas, variar la velocidad del marco descargador de la torre o recircular el flujo de arroz, es decir, el arroz pasa más de una vez por la misma torre asegurando el cumplimiento de los parámetros requeridos para esta parte del proceso. Es importante recordar que todas las decisiones y procedimientos son ejecutados por el personal previamente capacitado y responsable de cada sector.

Se debe tener en cuenta que el flujo del arroz, por bandas, elevadores, extractores de impurezas, silos, prelimpiadoras, etc, no es el sistema que se va a controlar, no hace parte del control de temperatura.

2.2 SEGUNDO PASO DE SECAMIENTO

Se realiza en silos inclinados o albercas en donde es inyectado aire caliente por la parte inferior. Se deben tomar muestras de la parte superior de cada silo, para analizar el porcentaje de humedad aproximadamente cada 6 horas hasta llegar al porcentaje de humedad requerido encima del silo, estos resultados se registran en el formato "Control de baterías en secamiento", el cual es exactamente igual a los demás formatos pero la muestra es tomada en la batería correspondiente. Estas muestras son tomadas y analizadas por el auxiliar de laboratorio o por uno de los auxiliares de secamiento. Los operarios de cargue y descargue de estos silos deben inspeccionar periódicamente el estado de las mallas del piso de cada silo, la estructura en general del silo, así mismo, el estado de bandas transportadoras y elevadores para cargue y descargue respectivamente.

2.3 TERCER PASO DE SECAMIENTO

Este se hace por medio de una última torre de flujo continuo, donde se le inyecta al grano aire caliente. Se deben tomar muestras tanto en la entrada como en la salida y analizar el porcentaje de humedad, el porcentaje de impurezas y mantener bajo control la temperatura, estos resultados se registran en el formato "Control en torres de secamiento torre 2". Durante el trabajo y a la salida de esta torre se deben respetar a cabalidad los parámetros requeridos ya que este es el último paso, además es la etapa en la que el arroz puede llegar a sufrir cambios más fácilmente si no se respetan los parámetros.

2.4 ALMACENAMIENTO

Para esto se dispone de silos o bodegas de concreto y silos metálicos con diferentes capacidades de almacenamiento para paddy seco a granel. De cada batería de secamiento se debe sacar una muestra y realizar una trilla de laboratorio para así determinar el porcentaje de humedad, el porcentaje de impurezas, y saber las condiciones del grano almacenado en cada silo además se registran los kilos almacenados. Estos datos se registran para cada silo que se encuentre almacenando arroz paddy seco en el formato "Control paddy seco en almacenamiento".

2.5 PARÁMETROS DE SECADO

LIMITES DE PROCESO RECIBO Y SECAMIENTO ARROZ PADDY

Molino Roa S.A

MUESTRAS ANALIZADAS

TORRE 1 - T° MAX. DE AIRE 55°C – 60° C
HUMEDAD DE SALIDA MIN. 20%

BATERIAS - T° MAX. DE AIRE 33°C - 35°C
HUMEDAD SALIDA ARRIBA 15.5% - 16%
HUMEDAD SALIDA MEDIO 13% - 14%
HUMEDAD SALIDA ABAJO 12% - 13%
HUMEDAD DE TRASIEGO 13.5% MAX. 14%

TORRE 2 - T° MAX. DE AIRE 35°C
HUMEDAD DE ENTRADA 13% MAX. 14.5%
HUMEDAD SALIDAD 12.5% MAX. 13%

Si al momento de procesar paddy se excede en estos parámetros se debe de informar al auxiliar de laboratorio o al asistente de producción.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Existen muchos métodos para estudiar una solución de automatización, para este proyecto se siguió una serie de pasos básicos para estudiar, analizar, desarrollar y solucionar el problema presentado para el proyecto.

Primero se hizo un análisis del sistema actual, sus procedimientos, técnicas, problemas y datos importantes para luego tener una imagen clara de qué y con qué se debe trabajar, así se puede subdividir el proceso en secciones y tareas.

Una vez separadas las áreas de trabajo se identifican los elementos y variables más importantes, se define como se van a controlar para luego hacer un estudio de los equipos que se pueden llegar a utilizar teniendo en cuenta las especificaciones y su capacidad. La cantidad, el tipo de entradas y salidas, la manera de instalar y conectar los equipos es fundamental tenerlo muy claro antes de hacer un pedido no solo por la inversión hecha y no perder la credibilidad del estudio, sino también por los posibles problemas que esto conllevaría, como devoluciones o nuevas compras debido a los imprevistos, demora en la entrega de equipos ya que muchos pueden ser de importación o simplemente detener el proyecto a mitad de camino conociendo que el tiempo de producción y del personal le cuesta dinero a la empresa.

En la realización de un proyecto no solo son importantes los conocimientos y el dominio del tema, también la dirección y organización de las tareas son fundamentales. Es bueno utilizar herramientas como un simple cronograma de trabajo para tener siempre una visión del estado actual del proyecto.

Paralelo al sistema de automatización hay que diseñar un sistema de emergencia o de control manual para todos los dispositivos que harán parte del proyecto. El proceso no debe ser tan dependiente del sistema automático ya que posibles fallos que aunque sencillos puedan resultar para un experto se necesitaría siempre de este tipo de mano de obra, la cual podría no estar disponible fácilmente y los problemas pueden llegar a producir mayores pérdidas de las que puede llegar a solucionar en un comienzo. Es por esto fundamental tenerlo en cuenta en el diseño de los paneles y/o tableros que se pueden llegar a utilizar, sus elementos de mando, de señalización, de protección, los enclavamientos eléctricos y mecánicos entre equipos, marcar o enumerar puntos importantes, etc. En caso de utilizar elementos como pantallas para el control del sistema, la interfaz grafica debe ser lo más sencilla posible, su manipulación y mantenimiento no debe ser un factor que interrumpa el correcto funcionamiento del sistema, el

análisis de los datos debe ser fácil de manejar, la comunicación de los mismos debe ser la adecuada, la claridad y confiabilidad son puntos muy importantes.

Figura 9. Cronograma de trabajo.

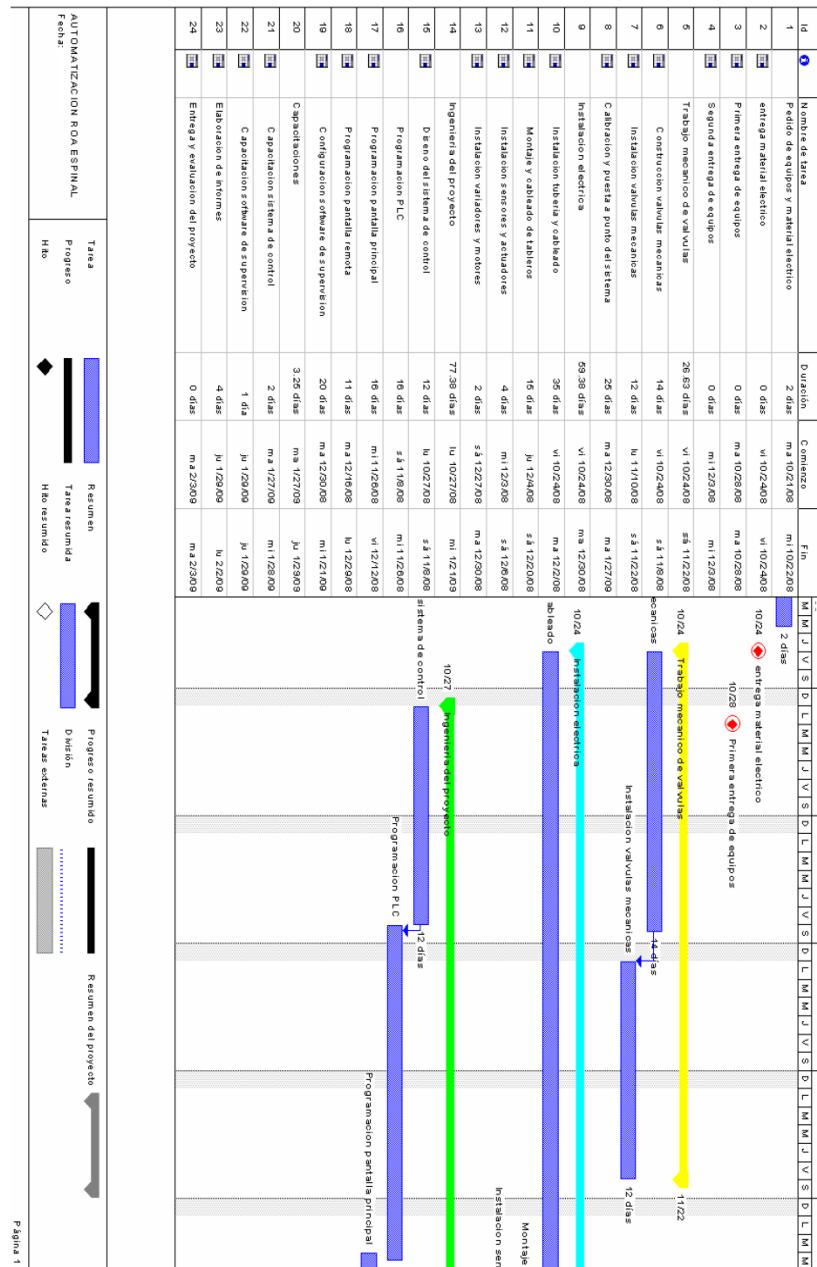
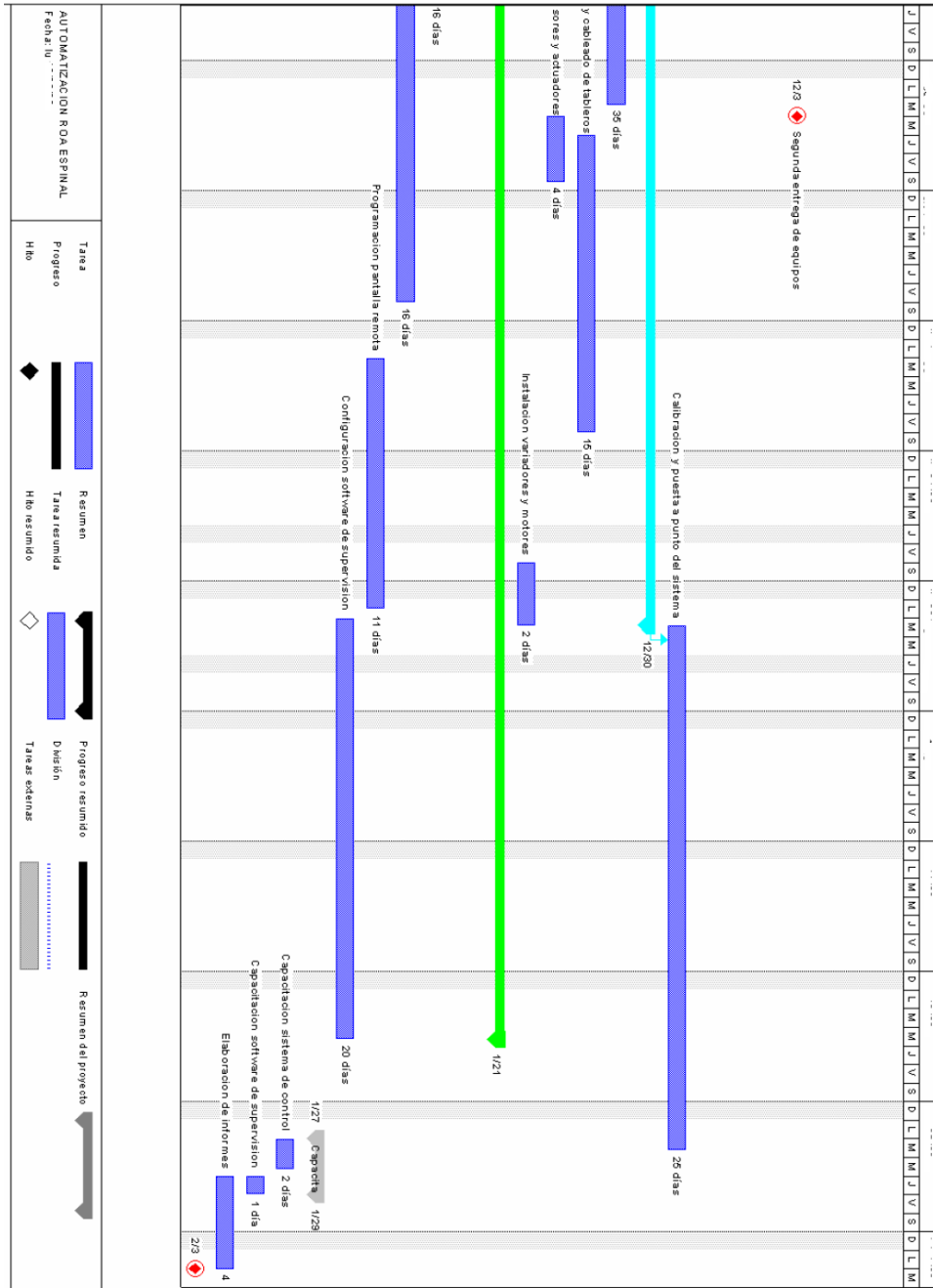


Figura 9. (Continuación) Cronograma de trabajo.



3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

Aunque en el sector de secamiento se puede encontrar maquinaria de última tecnología para la industria arrocera, el nivel actual de automatización es bastante bajo ya que no existe ningún control automático, ni un seguimiento mediante algún sistema de supervisión o de bases de datos para los procesos existentes. Todos los pasos deben tener obligatoriamente un seguimiento continuo del personal encargado para medir, analizar, tomar decisiones, corregir y controlar manualmente todos los dispositivos. A continuación se presentan algunos puntos importantes a corregir durante la realización del proyecto:

- Dependencia completa en los trabajadores de turno. En este punto no solo se hace referencia al cumplimiento de las responsabilidades del trabajador sino también a la dependencia en cuanto a la experiencia que este debe tener para el cálculo de los tiempos de trabajo y el comportamiento de la maquinaria en diferentes condiciones para que se cumplan correctamente cada uno de los pasos de secamiento, recordando que este seguimiento debe ser continuo.
- La ausencia en algunos sectores de la tecnología de sensores electrónicos de nivel hace que esta medición sea hecha a puro ojo.
- Aunque hay sensores de temperatura en algunos sectores del proceso, estos no son suficientes o están mal ubicados para poder tener una clara visualización del estado actual del grano en cada paso. Los visualizadores se encuentran ubicados en sitio y sus datos no son muy confiables debido al método y estado de la instalación.
- No hay sensores ni medidores de humedad ambiente confiables. En el laboratorio hay medidores de humedad contenida de arroz, que ayudan además a obtener datos como la dispersión y temperatura del grano.
- Cada trabajador o auxiliar debe llenar formatos escritos con registros obtenidos del análisis de las muestras del grano y del comportamiento de la maquinaria de la planta, además de tener que entregarlos al personal encargado de almacenar y analizar los datos para obtener resultados del rendimiento del proceso y finalmente poder tomar las decisiones correspondientes. Este último análisis debe ser hecho constantemente por personal con un alto grado de capacitación y experiencia en el tema. Los datos reales son muy fácilmente alterados para conveniencia de los operarios.

- El manejo y estudio de la influencia de factores externos no se tiene en cuenta con exactitud. Al no tener datos que pueden influir en el comportamiento de los equipos o instalaciones no podemos asegurar que todo esté funcionando en el punto correcto o si estamos aprovechando el máximo de su capacidad.
- La visualización de los datos técnicos en la planta es casi nula. La ausencia de dispositivos que faciliten la visualización y el control de la maquinaria hacen complicado un rápido análisis del estado actual del sistema total.
- Muchas de las actividades que realiza el personal pueden hacerse repetitivas o complejas.
- La comunicación no usa ninguna clase de tecnología de red, todo depende del transporte de los formatos escritos, otra responsabilidad más para el encargado de cada sector del proceso.
- Ocasionalmente se presentan daños en la instalación e incluso en el producto debido a posibles descuidos, malos manejos o simplemente imprevistos por parte de los operarios, luego resulta casi imposible definir la causa real.

Realmente todo esto son puntos a favor para la realización del proyecto ya que cubrir cualquiera de estos puntos influiría bastante en los resultados de producción si el sistema es bien aprovechado por el personal encargado.

3.2 DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS Y TAREAS

El proyecto está centrado en el control y supervisión del secado del arroz, en esta etapa podemos diferenciar tres tareas o tipos de maquinaria que presta las respectivas funciones específicas, limpieza del producto, transporte y secado. Para no extender demasiado el proyecto y aunque sería muy bueno intervenir en los tres tipos de tareas, solo se harán cambios y se controlará la maquinaria o equipos que tienen que ver directamente con el secado, ya que esta es la parte más delicada y en la que se pueden obtener directamente los resultados esperados para el sistema.

En las instalaciones que solo tienen que ver con el secado, se encuentran las torres, las albercas inclinadas, los hornos y los ductos de aire caliente.

- Las torres y albercas son el lugar donde el arroz realiza el proceso de extracción de humedad o secado, su construcción y funcionamiento aunque difieren en muchas cosas su objetivo es el mismo por lo tanto se toma una solución en conjunto.

- El sistema que controla los hornos debe ser un análisis aparte, su función es crear el calor necesario para las secadoras, su forma de operar será otro subsistema.

- Los ductos de aire son simplemente eso, por eso cualquier medida que se tome sobre los mismos se tendrá en cuenta en alguno de los otros subsistemas, secadoras y hornos.

Antes de iniciar con el proyecto de automatización y una vez que ya se conoce a fondo el funcionamiento de la instalación, se lleva a cabo un mantenimiento general para que en el momento en que el sistema se ponga en marcha, el estado de las instalaciones no afecte los resultados, minimizando posibles causas de error y evitar salir de los objetivos principales que se toman para el diseño del proyecto.

3.3 VARIABLES A CONTROLAR

Los objetivos principales de un sistema de secado de arroz son los siguientes:

- Reducir al mínimo la cantidad de granos quebrados que se producen como resultado del mismo secado. Una diferencia de dos o tres puntos porcentuales puede significar la diferencia entre obtener o no utilidades.

- Extraer la humedad de manera económica. Aquí medimos la inversión total, mano de obra, mantenimiento de equipos, energía eléctrica y combustible.

- Hacer el trabajo de manera relativamente simple, sin complicaciones técnicas que no agreguen valor al proceso.

Con esto se aclara que no solo se deben tener en cuenta las variables de proceso, también el costo o inversión es una variable importante en las decisiones. Encontrar el equipo adecuado al precio correcto es casi tan importante como encontrar el punto de equilibrio en el proceso. Se recalca de nuevo que el diseño final del sistema debe ser lo más sencillo posible en todos sus aspectos, montaje, manejo y mantenimiento son variables que se vuelven importantes una vez terminado el proyecto.

A continuación se hace un análisis de las posibles variables que se pueden encontrar en el proceso.

Los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se seca con aire forzado, son: la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura, la humedad y el flujo de aire de secado, el contenido de humedad y de equilibrio de los granos y el flujo del grano con respecto al tiempo en cada uno de los pasos de secado.

Analizando cada uno de estos parámetros es fácil notar que dependen unos de otros, esto hace que en el diseño no se deba descuidar ningún factor ya que estaría afectando el sistema en su totalidad. El manejo de los parámetros adecuados, ya que controlar algunos de estos puede llegar a ser muy complejo, permitiría simplificar el control del sistema y así determinar el equipamiento apropiado para llevar a cabo el montaje. Por otra parte, el conocimiento y correcto análisis de dicha interdependencia de parámetros permitirá corregir y/o desarrollar nuevas tecnologías de secado.

3.3.1 Condiciones Del Aire Ambiente.

A la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente muchas veces no se les da importancia para el secado a altas temperaturas, pero en este caso los parámetros ambientales a veces se asemejan mucho a los requeridos en algunos pasos de secado, por ello serán un parámetro a tener en cuenta en el diseño del proyecto. Como puntos importantes es necesario ver que si solamente con la temperatura ambiente se pueden alcanzar los objetivos se tiene la opción de apagar algunos dispositivos consiguiendo un ahorro en el consumo de energía o material para su generación, aspecto muy importante en el sector industrial. Otras veces simplemente no usar un poco más de cascarilla en los hornos puede convertirse en la necesidad de tener unas horas más encendidas las turbinas de las secadoras, los motores de mayor consumo de energía en toda la etapa de secado.

En cuanto a los valores de humedad, aunque en las instalaciones y por las condiciones que se presentan en la región se toman muchas veces como constante, lo que es un error y debe ser tomada en cuenta. Como punto importante para aclarar y recordar, las diferencias de humedad entre zonas o entre materiales es lo que al final reduce los puntos que necesitamos en el proceso. Debido a esto la humedad ambiente, parámetro que actualmente no se tiene en cuenta y que se sabe que influye pero aun así no se sensa ni se toman decisiones concretas con respecto a los cambios en los niveles de la misma, se convierte en un objetivo importante para el proyecto ya que se estarían analizando datos y resultados que nunca se han hecho en la empresa y que según la teoría lo único que pueden es obtener ganancias tanto monetarias como en conocimientos y experiencia.

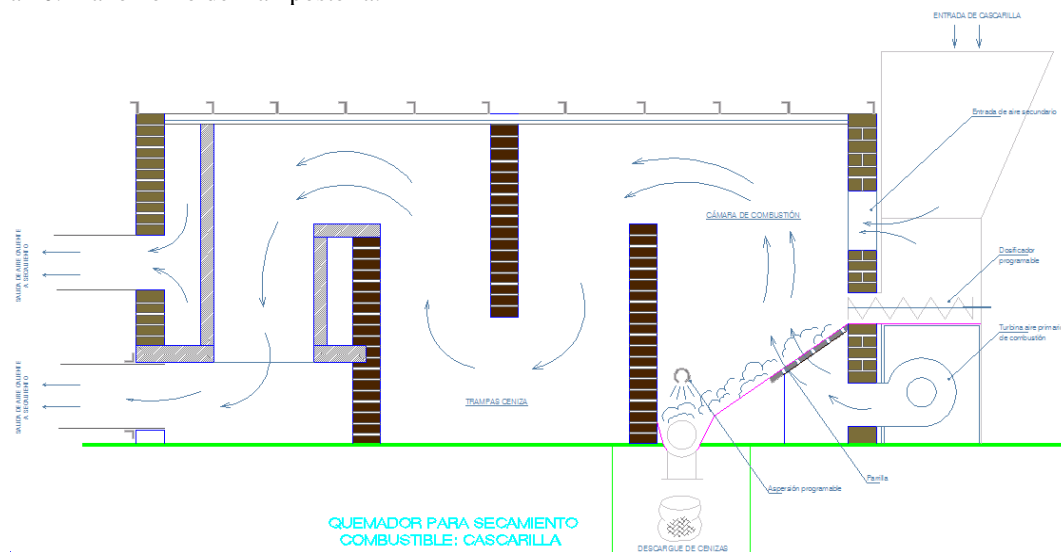
Debido a todo esto, la humedad y temperatura ambiente deben ser sensadas constantemente por un equipo confiable cuya señal de salida irá al dispositivo de control y supervisión. Obviamente no son variables a controlar, el sistema es el que debe moldearse a estas.

3.3.2 Condiciones Del Aire Secante.

Se denomina al aire secante aquel que tiene contacto con el producto a través de la secadora y es la combinación del aire ambiente y el que proviene del horno. Su finalidad es la de secar el arroz, con esto queda claro que es la variable principal a controlar, todo lo demás se centrara en mantener esta variable en los niveles apropiados y a su vez a los equipos funcionando correctamente.

Las condiciones del aire secante se pueden dividir en tres factores principales, la temperatura, la humedad y el caudal o flujo. Actualmente se regula manualmente solamente la temperatura de la siguiente manera, existen tres hornos de tipo directo que usan como combustible la cascarilla de arroz, la cual se almacena en una tolva que tiene su propio sistema de llenado a partir de un elevador. Una vez llena la tolva se procede a encender el horno, la cascarilla se introduce a la cámara de combustión a través de un motor alimentador, el cual mediante un sistema de piñones y tornillos sinfín se encarga de realizar esta acción.

Figura 10. Plano horno de mampostería.



Para controlar la cantidad de cascarilla que entra se usa un temporizador que actúa sobre el sistema de arranque del motor alimentador. En este temporizador se puede configurar el tiempo de conexión y el tiempo de desconexión, de esta manera entre mayor sea el tiempo encendido y/o menor sea el tiempo apagado más cantidad de cascarilla entrará al horno. El principio es muy básico, a mayor cantidad de combustible mayor será la llama producida y por lo tanto mayor generación de calor y viceversa. Los tiempos de trabajo, las revoluciones y potencia del motor, los dientes de los piñones y el sistema de sinfines han sido diseñados y probados totalmente en la empresa durante varios años, por esto ya se tiene un diseño casi fijo para este tipo de hornos y por lo tanto se puede suponer que todos responderán de la misma manera.

Una vez se encuentra la cascarilla dentro del horno, con ayuda de un combustible como ACPM o gasolina se puede comenzar la ignición del material. Para que esta no solo se pueda realizar sino que la combustión se mantenga, se utiliza una turbina, que inyecta aire al horno a través de unos orificios ubicados debajo de la parrilla inclinada donde se quema la cascarilla. La cantidad de aire que entra al horno también se puede regular utilizando pequeñas compuertas que obstruyen el paso del mismo. Igual que la alimentación de cascarilla el aire es indispensable para regular la combustión y por lo tanto la temperatura del horno.

Luego está el sistema de descarga de la ceniza, el cual cuenta con un tornillo sinfín que se encarga de sacarla del horno y un sistema de refrigeración a base de agua para evitar que salgan residuos a altas temperaturas y evitar posibles riesgos de incendio en las instalaciones. Para evitar que la ceniza viaje a través del ducto de salida de aire, el horno cuenta con compartimientos que filtran la ceniza interrumpiendo el flujo normal del aire y sirviendo como trampas para decantar el residuo, además a la salida del horno hay una serie de láminas perforadas que ayudan a filtrar aun más el aire.

El aire del horno se transporta a través de ductos metálicos hasta las turbinas que posee cada secadora, justo antes de entrar está una válvula manual que se encarga de regular el flujo de aire hacia la turbina. Es una válvula de rotación ajustable desde una palanca situada fuera del ducto con movimiento angular de 0° a 90° . La turbina o ventilador de tipo centrífugo posee dos orificios de entrada u oídos, por un lado entra aire ambiente y por el otro entra el proveniente del horno, combinándolos se obtiene el aire secante, la temperatura del mismo depende entonces directamente del ángulo de apertura de la válvula de aire caliente y de la temperatura ambiente. A la entrada del ducto de la torre o del túnel para el caso de las albercas hay un sensor y un indicador de temperatura que se utiliza para supervisar y así mismo tomar las medidas correspondientes en caso de haber

niveles de temperatura inapropiados. Muchas de las conexiones infringen las normas para la instalación y uso de dispositivos para medir y visualizar la temperatura.

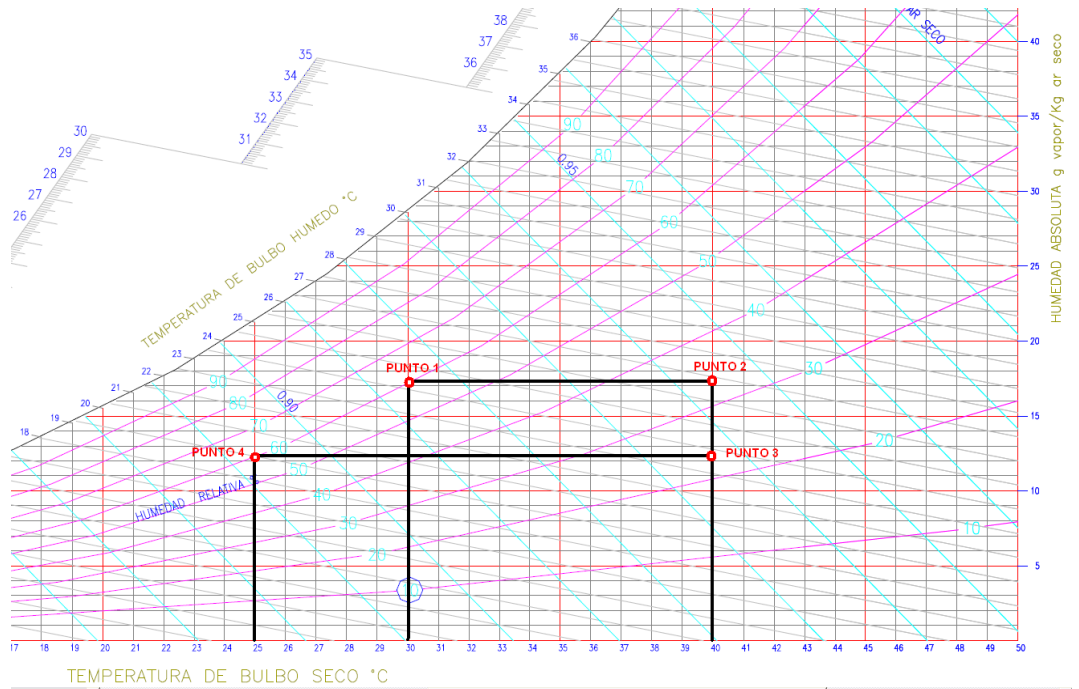
El control de temperatura existe pero todas las deficiencias nombradas anteriormente en el análisis hecho al sistema actual salen a la luz más claramente. Absolutamente todo es manual, es decir, depende directamente de los operarios, no hay un control exacto a falta de datos y no hay un control continuo ya que no hay un operario por maquina, horno o secadora que este siempre supervisando y manipulando los equipos, lo que es técnica y económicamente imposible.

Antes de explicar cómo y porque se concluye que solo se regulará la temperatura del aire secante es necesario recordar las otras dos variables, la humedad y el caudal.

La forma como se seca el arroz está regida por parámetros prescritos mediante estudios muy completos y experiencia de muchos años, por eso no se intenta simplemente reinventar el sistema sino simplemente utilizar los parámetros actuales y que han dado resultados para mejorar el control, tiempos y calidad del proceso. Los parámetros más importantes son el nivel de temperatura que se requiere en cada paso que se denominará set point o punto a alcanzar y el otro es la humedad contenida del grano. Para el proyecto no solo se busca analizar y controlar la temperatura sino también la humedad del aire secante, responsable directa de reducir o absorber los puntos de humedad del grano.

Para comprender mejor esta conclusión se analiza la carta sicométrica en donde se relaciona la presión atmosférica, humedad absoluta y relativa, temperatura de bulbo seco y húmedo, entalpia, punto de rocío, presión de vapor, etc. La temperatura de bulbo seco que es la temperatura del aire medida con un sensor común, la humedad relativa ya que es más sencillo trabajar y analizar resultados que con la absoluta y la presión de vapor que finalmente será el parámetro de relación entre las anteriores.

Figura 11. Carta ejemplo 1.



Para la anterior grafica se pueden analizar dos posibles estados. El punto 1 equivale a tener una temperatura ambiente de 30° C y una humedad relativa del 60%, si el parámetro que pide la etapa de secamiento es de calentar el aire a 40°C y se hace con la ayuda del horno, con esto se obtiene el punto 2 que será el del aire secante. El punto 4 equivale a temperatura ambiente de 25°C y la misma humedad relativa anterior, si se necesita el mismo set point se obtiene el punto 3.

Fácilmente se llega a la conclusión que para un mismo set point a diferente temperatura ambiente se obtiene un aire secante con diferentes propiedades, entre ellas la humedad relativa del aire secante. Si se realiza el mismo ejercicio manteniendo constante la temperatura ambiente pero a diferente humedad relativa ambiente y se requiere alcanzar el mismo set point se obtienen resultados similares.

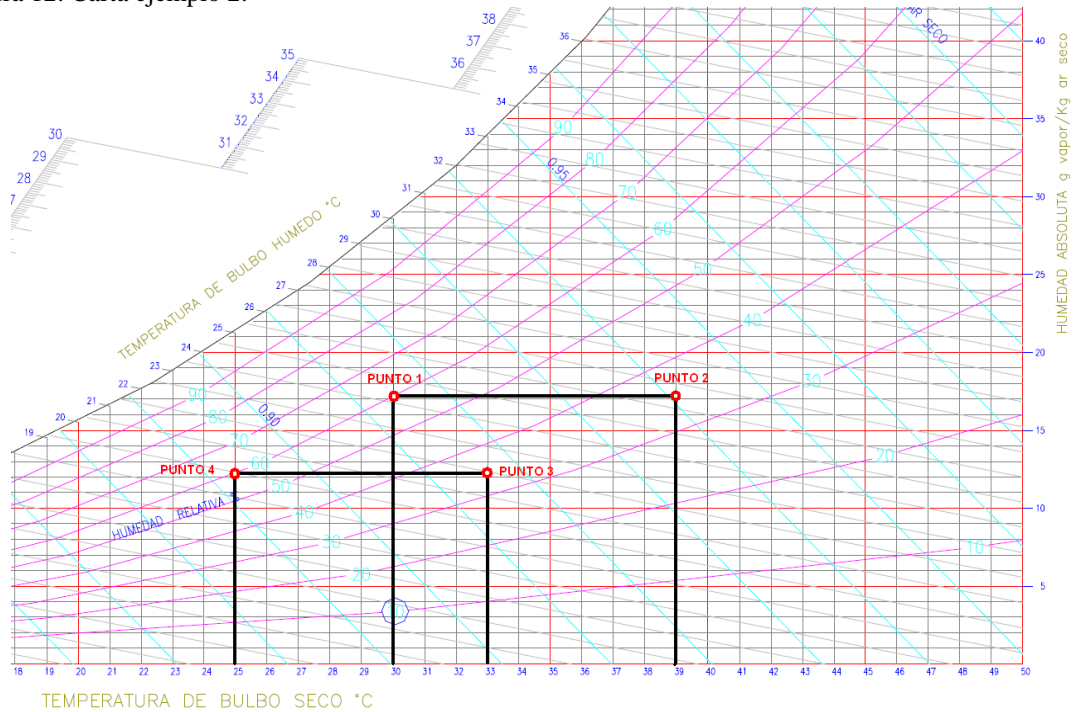
De esto se deducen dos conclusiones importantes, las condiciones ambientales influyen definitivamente en las propiedades del aire secante así se mantenga un set point de temperatura fijo. Si cambia el aire secante también debe cambiar el comportamiento del secado del arroz durante el proceso. Cambios de 25°C a 35°C en la temperatura ambiente o de 30% a un 70% de humedad relativa, para la zona en la que se encuentra el Molino son cambios normales, casi diarios y que se pueden dar en cuestión de horas, por lo tanto no solo hay que supervisar las condiciones ambientales sino también tomar acciones y controlar según los cambios. Las curvas presentes en la carta cambian con respecto a la presión atmosférica que está directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, en este caso se utiliza una tabla para 600 metros de altura que es aproximadamente a la que se encuentra el Molino.

Por otro lado se debe escoger si se va intentar regular la temperatura o la humedad relativa del aire secante. Hay que tener en cuenta que si se quiere regular temperatura, lo normal es que se instalen sensores de temperatura y si se quiere regular la humedad se instalan sensores de humedad, en este punto se tiene que evaluar primero la posibilidad de realizar el montaje de los equipos y segundo si vale la pena realizar la inversión.

Para los sensores de temperatura no habría ningún problema, medirla es casi obligatorio, recordar que no se busca cambiar totalmente la manera como se seca el arroz, además la consecución, instalación, el precio de los sensores y de los adicionales que se necesitarían para la medición son puntos a favor, lo que no sucede si se requiere medir humedad ya que el lugar donde se instalarían no es recomendable para este tipo de sensores debido a la polución en la que se encontrarían, entonces el sensor no puede ser común sino de alguna tecnología o construcción mas específica, esto hace que simplemente conseguirlo sea mucho más complicado, sabiendo que tan solo un sensor común de humedad es mucho más costoso que uno de temperatura sin tener en cuenta el detalle que este debe tener características especiales. Luego de hacer las gestiones para la posible consecución de los equipos de humedad se corroboraron los resultados que se esperaban y debido a esto se lleva a cabo un análisis para intentar mediante la teoría buscar una solución para que con la toma de medidas a una sola variable se puedan tener datos para el control de todo el proceso.

Volviendo a la tabla sicométrica, se realiza el ejercicio para el caso en que se quiera mantener constante la humedad relativa del aire secante.

Figura 12. Carta ejemplo 2.



Punto 1, humedad de 60% y temperatura de 30°C, para poder llegar a un set point de humedad de 35% se necesita aumentar la temperatura hasta un valor muy cercano a 39°C. Para el punto 4, con condiciones ambientales de 60% y 25°C para el mismo set point de humedad se necesita tan solo llegar hasta 33°C.

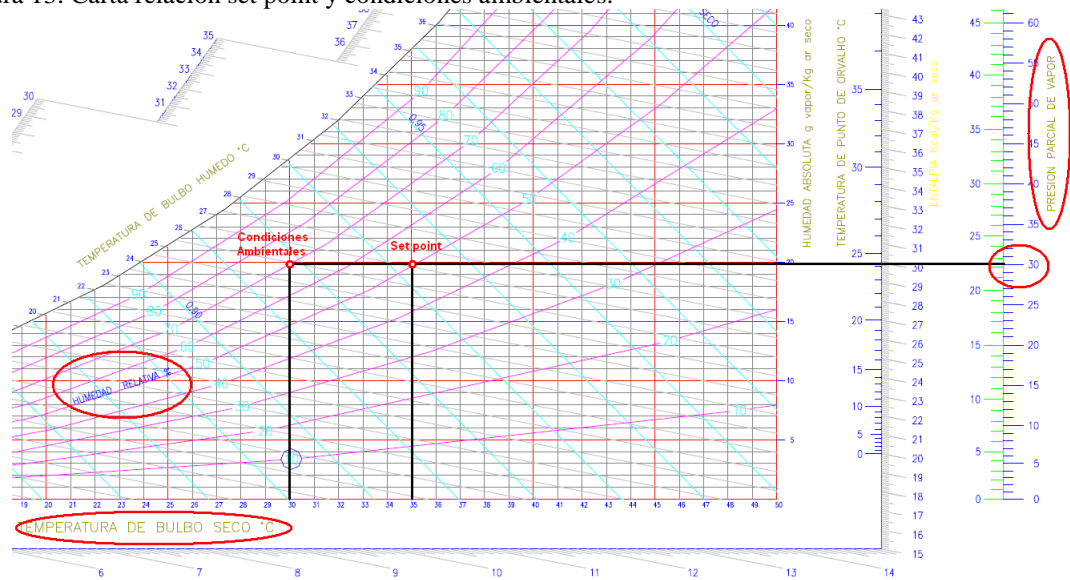
Al estar controlando la humedad relativa del aire secante se estaría manteniendo según la teoría una uniformidad en el secado, además se obtienen otras posibles ventajas adicionales como la estandarización de tiempos y humedades contenidas al comienzo y al final de cada etapa, el porcentaje de grano partido debería mejorar o por lo menos estandarizarse si se utilizan los set points correctos.

Para mantener la humedad relativa constante simplemente sensando y controlando la temperatura se procede de la siguiente manera:

No hay una relación que no dependa de ninguna otra variable entre la humedad relativa y la temperatura. Analizando la tabla o grafica sicrométrica se encuentra que un valor común entre el punto 1 y el punto 2 es la presión de vapor, este valor se mantiene constante y se convierte en la relación directa entre los dos puntos. Si se halla el valor para las condiciones ambientales será el mismo valor para las

condiciones del aire secante.

Figura 13. Carta relación set point y condiciones ambientales.



Existe una fórmula que relaciona la humedad con la presión de vapor y otra que relaciona esta misma con la temperatura, si se tienen los valores para las variables temperatura y humedad no será sino trabajar sobre las formulas, sustituir y encontrar la solución. Estas son las ecuaciones a trabajar:

$$P_{vs} = 6,11 \times e^{[(17,27 \times T)/(237,3 + T)]}$$

Despejando T

$$T = \frac{[237,3 \times \ln(P_{vs}/6,11)]}{[12,27 - \ln(P_{vs}/6,11)]}$$

T = Temperatura en °C

P_{vs} = Presión de vapor de saturación en Hpa

$$P_v = \frac{P_{vs} \times Hr}{100}$$

$$P_{vs} = \frac{P_v \times 100}{Hr}$$

P_v = Presión de vapor en Pa

Hr = Humedad relativa

Teniendo la temperatura ambiente y utilizando la primera ecuación se puede hallar la presión de vapor de saturación, luego con este valor y el de la humedad relativa del ambiente se halla el valor correspondiente para la presión de vapor. Como la presión de vapor se mantiene constante y se tiene la humedad para el punto a alcanzar entonces simplemente hay que devolverse en las ecuaciones para hallar la temperatura que cumpla con los parámetros que se buscan. Se halla el nuevo Pvs con el nuevo valor de Hr y luego el valor de T. Con esto se encuentra el valor al que debe estar la temperatura para que se alcance un set point de humedad relativa y sensando una sola variable se pueden controlar dos, a este valor de temperatura debido a que el sistema se encarga de hallarlo se le llamará set point automático.

Para el flujo de aire aun siendo una variable igual de importante a la temperatura se llega a la conclusión que no es necesario controlarla. La pregunta por la que se llega a este resultado es, por que se necesitaría reducir a ampliar la cantidad de flujo? Simplemente no hay necesidad, jugar con el flujo es variar la presión en la máquina de secado sea torre o alberca, esto afecta directamente su rendimiento ya que reducirla sería mermar la tasa de secado y aumentar tiempos, pero aumentarla conllevaría a tener posibles problemas en el funcionamiento de la secadora ya que la turbina siempre se diseña para un caudal nominal específico según el tamaño de la secadora. Tan solo el hecho de incluir una variable más al sistema lo hace más complicado y costoso. Si se presenta el caso especial en el que se necesite disminuir la capacidad de secado también se podría hacer reduciendo la temperatura o aumentando la humedad del aire secante, variables que si se van a sensar y controlar.

Se analiza solo un caso especial en las secadoras de alberca, ya que la presión dentro del túnel cambia cada vez que se cierran o abren las compuertas que deja ingresar el aire a cada uno de los silos inclinados y la única manera de mantener una presión constante sería variando el flujo de aire, para ello se necesitaría un variador de velocidad electrónico para el motor de la turbina y un sensor de presión o de caudal dentro del túnel para que retroalimente el sistema de control, dos equipos que tienen un costo alto, teniendo en cuenta la potencia del motor para el variador y la baja presión, la polución en el aire y el tipo de instalación que necesitarían los sensores, aunque esta medida sería apropiado tenerla, no solo en caso que se quiera controlar, también porque su supervisión daría una visión general del estado de la turbina, los ductos y la secadora ya que cualquier pérdida sería detectada inmediatamente y se procedería a revisar la causa. Medir el consumo de corriente de la turbina también es una opción para relacionar estas variables pero luego de llevar a cabo un estudio práctico, al cambiar la presión en

la maquina los cambios en el consumo tienen poca precisión y exactitud, además pueden deberse a otras causas por lo tanto se necesitaría un estudio mucho más amplio de la situación sin conocer con facilidad el éxito en sus resultados.

Tener en cuenta que el cierre de compuertas se hace solo cuando la secadora ya está por finalizar el proceso de secamiento, siendo un bajo porcentaje dentro de su tiempo total de trabajo, en una tipo torre esto definiría un problema interno y en vez de variar la velocidad del motor se debe hacer un mantenimiento al lugar de la máquina en la que se encuentre el problema. Es un proyecto viable pero que apuntaría más al ahorro de energía y eficiencia de la maquina que al control de secado.

3.3.3 Humedad Contendida Del Producto.

El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de absorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo. En consecuencia, se utiliza un mayor porcentaje de energía disponible.

La dispersión de humedad contenida entre granos es un factor que puede llegar a afectar los parámetros básicos de secado para que este se lleve a cabo de manera correcta, para esto las secadoras de torre se encargan de homogenizar el producto reduciendo el porcentaje de dispersión y manteniendo el curso normal del proceso.

Actualmente se toman muestras aproximadamente cada 15 minutos para ser analizadas en el laboratorio, existiendo de nuevo la posibilidad del error humano. Una medición en línea es un proyecto que se pronostica llevar a cabo más adelante, ya que simplemente por orden se debe terminar primero el control de temperatura.

3.3.4 Flujo Del Producto Dentro Del Secador.

La velocidad con que el material pasa por el secador, denominada con mayor frecuencia flujo de masa o tiempo de residencia del producto en el secador, puede influir en la tasa de secado, la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. Con ayuda de la experiencia del personal de la planta y al finalizar el montaje del sistema de control se busca que este flujo sea constante, equilibrado y coordinado. El tiempo simplemente depende que se consiga el punto o medida requerida para la humedad contenida, en este momento el arroz pasa a la

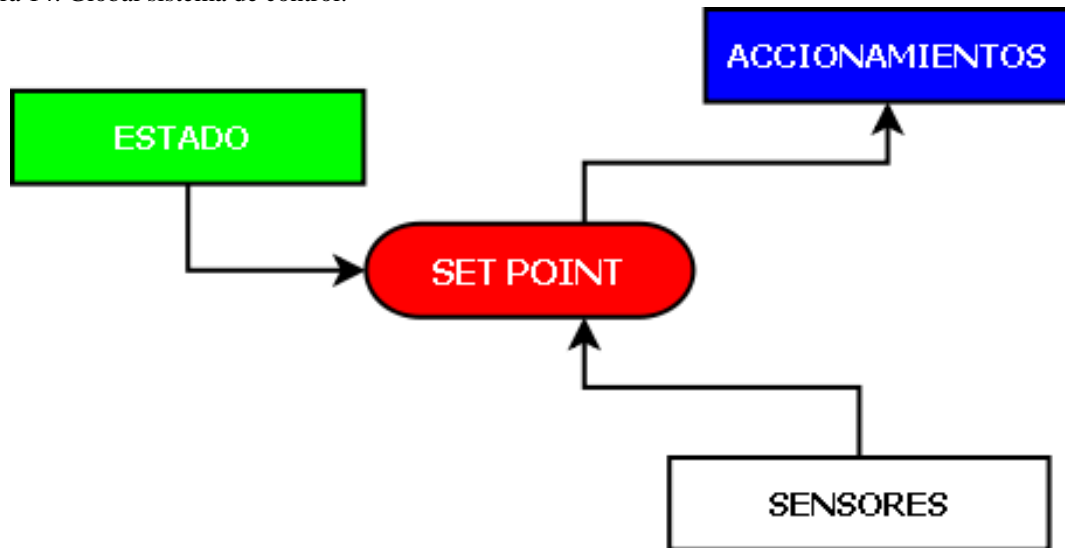
siguiente etapa.

3.4 DISEÑO SISTEMA DE CONTROL Y SUS COMPONENTES

Una vez claro que áreas y variables se van a controlar se analiza que procedimiento se va a seguir. La temperatura es la variable a controlar, actualmente se regula y se obtienen resultados pero el proceso no está automatizado y esta es la razón del proyecto entonces se utilizan los mismos principios pero se introduce la tecnología necesaria para mejorarlo.

Todo se centra en alcanzar y mantener un set point de temperatura, este valor podrá depender de las condiciones ambientales y un valor determinado para la humedad requerida en cada paso del secado o simplemente de un valor ingresado directamente por algún usuario que tenga acceso al sistema, aun así se recomienda mantener estos valores dentro de los parámetros o niveles permitidos para no afectar el producto.

Figura 14. Global sistema de control.



El estado se refiere a tres posibilidades, encendido, apagado y alarma. Se deben estar sensando constantemente los hornos y secadoras, si están en funcionamiento se encienden los accionamientos, se toman los datos provenientes de los sensores y comienza la regulación, en caso de estar apagados simplemente se detiene el control y los equipos estarán listos para un nuevo arranque. Para reconocer si una secadora está encendida se medirá con el estado del ventilador y para los hornos mediante la turbina de combustión, esta señal se recoge de una bobina auxiliar, en este caso un contacto normalmente abierto

proveniente del contactor de arranque del motor. Estas son señales digitales que van directamente al controlador, se tuvo en cuenta la posibilidad de no solo censar el estado sino también controlarlo, pero esto puede ser riesgoso ya que si se toma un punto común que tenga la capacidad para encender turbinas que no se encuentran cerca, no se podrá saber si algún operario o personal de mantenimiento se encuentra trabajando en la parte mecánica o eléctrica de la turbina o dentro de la misma secadora, por esto el encendido y apagado seguirá siendo a través de pulsadores ubicados al lado de la turbina correspondiente.

Las alarmas se derivan al detectar niveles inapropiados, estados que no concuerdan con posibilidades reales o simplemente los accionamientos y sensores pueden tener una señal de falla.

Los sensores pueden estar sensando variables digitales o análogas que estarán indicando constantemente el estado de las instalaciones.

Los accionamientos se refieren a todos los equipos que reciban una señal de mando proveniente del sistema de control. Motores, válvulas, actuadores, variadores hacen parte de este grupo.

Ya se diferenciaron los dos sistemas o áreas de trabajo que son los hornos y las secadoras, entonces se define que elementos deben ir en cada una.

3.4.1 Nivel De Cascarilla.

Para los hornos se comienza por el sistema de abastecimiento de cascarilla donde un elevador se encarga de llenar la tolva de alimentación, es un sistema muy sencillo pero que posee tres fallas graves:

- En caso que la tolva se llene completamente y el elevador siga en marcha, se atascan los bajantes de alimentación, se sobrecarga el elevador y se corre el riesgo de afectar el motor, así las protecciones como el relé bimetálico o el Guardamotor respondan a tiempo, muchas veces el operario al no reconocer la falla o al intentar desatascar con el motor del mismo elevador simplemente termina dañando los cangilones, correas, rodamientos o hasta el mismo motor convirtiendo el problema en algo mas grave y deshabilitando el horno durante más tiempo.
- Si sucede lo contrario y se apaga el elevador durante mucho tiempo, la tolva se desocupa, el horno dejara de recibir cascarilla y terminara por apagarse.
- Al querer apagar el horno la tolva siempre debe quedar vacía ya que si se

detiene el sistema de alimentación y este queda lleno de material, al tener contacto directo con la cámara donde se produce la llama esta terminará alcanzando todo el que se encuentra en la tolva convirtiéndose en un gran riesgo.

La solución es la instalación de interruptores de nivel en la tolva de cascarilla para controlar el llenado. Un sensor mide el nivel alto y apaga el elevador para detener el llenado de la tolva automáticamente, otro sensor se encarga del nivel bajo y pedirá mas carga al elevador encendiéndolo. La aplicación es sencilla pero interruptores de nivel hay muchos, la tecnología, el tipo de instalación, voltaje de alimentación y tipo de salidas de control son aspectos indispensables al elegir.

Como adicional se puede llevar un conteo de las veces que se ha llenado y desocupado la tolva para llevar un registro y analizar consumos ya que la capacidad de almacenamiento es fija, se tendría un dato para medir la capacidad de consumo en tiempo del horno y la cantidad de cascarilla que se necesita tener disponible.

3.4.2 Accionamientos.

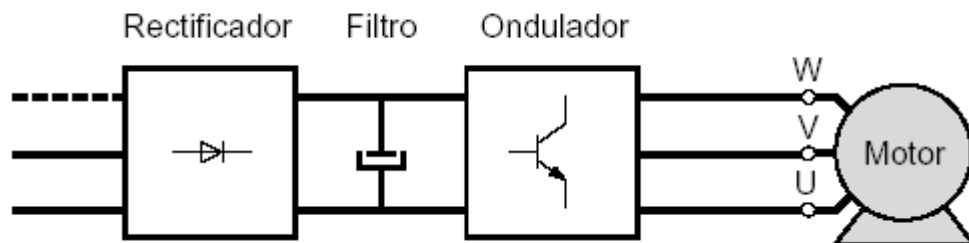
El sistema de alimentación de cascarilla del horno es el punto más importante en la regulación de la temperatura por eso para ello se tendrá control completo sobre el motor que realiza esta función. El horno se utiliza para aumentar la temperatura del aire que entra a las secadoras, el sistema debe conocer el estado de las mismas, cuántas están trabajando, qué tanto hace falta para alcanzar el set point, no sobrepasar límites máximos, etc. La cantidad de combustible que ingrese al horno dependerá del estado actual de cada una de las secadoras que este alimenta.

Se comienza por definir el tipo de motor que se debe utilizar, el problema con el actual está en las revoluciones por minuto ya que por momentos estas llegan a ser insuficientes, además el control de velocidad se hará de manera continua y no por lapsos de tiempo como se explico anteriormente. Se aumentan de 2 a 4 rpm a la salida del motor, se aclara que este se encuentra acoplado a una caja reductora para poder obtener este tipo de velocidad, además se aumenta la potencia del motor de 1 a 1.5 caballos de fuerza con el fin que no sufra tanto al estar trabajando durante un tiempo prolongado a bajas revoluciones, ya que tienden a sobrecalentarse y su eficiencia disminuye. Se tiene en cuenta un sistema de auto ventilación extra pero este se deja como posibilidad en caso de tener problemas. Se optó por cambiar el motor y no los piñones que se acoplan a través de una cadena y mueven los sin fines de alimentación ya que para instalar los que se necesitarían habría que cambiar toda la instalación de bases, acoples y

rodamientos.

Para controlar el motor se utiliza un variador electrónico o controlador de frecuencia que regular la velocidad en motores trifásicos. Estos equipos normalmente son controlados por un microprocesador para modificar la señal de alimentación del motor con la ayuda de dispositivos de estado sólido de potencia como lo son los tiristores.

Figura 15. Esquema de por pasos de un variador de frecuencia



Micromaster 420, Instrucciones de servicio.

No se va a entrar en detalle en la teoría detrás del variador de velocidad para no extender la explicación ya que para entender habría que aclarar primero el funcionamiento de los motores, luego el de cada uno de los componentes del variador y su funcionamiento. Para el proyecto se usa un variador trifásico a la salida con capacidad máxima de potencia para motores de 2 HP y alimentación 220 VAC, estos parámetros se definen gracias a las características del motor que se va a controlar. Se especifica trifásico a la salida ya que al equipo solo entran dos fases de alimentación de potencia, la tercera es creada por el mismo variador, normalmente todos estos dispositivos tienen la misma capacidad con el fin de obtener tres fases bien balanceadas o en caso que la entrada sea trifásica y una de estas caiga, el variador entra en alarma pero se puede seguir trabajando.

La conexión eléctrica, instalación, configuración y puesta en marcha de todos los equipos se explican en el capítulo de desarrollo del proyecto.

La turbina de combustión se utiliza como elemento de aviso para el sistema de control. Al encenderse se da por entendido que el horno debe comenzar a trabajar, se revisa el nivel de la tolva y se adapta al adecuado, el motor de alimentación debe comenzar a trabajar. No se tiene control pues ya se explicó por qué no se encienden turbinas remotamente, no se opta por apagarla y/o regular su capacidad o la cantidad de aire que puede inyectar al horno por la misma razón que en las turbinas de las secadoras, entre más aire mejor, si se requiere menos

temperatura se regula la alimentación. Disminuir la cantidad de variables en el sistema no solo lo hace más sencillo en su estructura de programación y montaje sino también más económico. De todas maneras esta decisión se toma con anticipación debido a pruebas hechas en el horno antes de llevar a cabo el montaje, se mantiene al máximo la entrada de aire, al regular la cascarilla que entra no se obtienen resultados o cambios inmediatos en la temperatura que se puede producir pero el horno no será el que regule la temperatura exacta en cada secadora, este ajuste fino lo realizará otro equipo.

El quemador a base de este tipo de combustible no se comporta nunca como uno que sea alimentado por combustibles más volátiles como el gas natural, es decir, si se anula completamente la entrada de combustible o la aumentamos bruscamente los cambios no se dan al instante, al intentar hacer una regulación on/off con la turbina de combustión se tenía una respuesta relativamente rápida en la llama que produce el horno, encenderla y apagarla estimula la llama inmediatamente pues esta es su función pero los cambios en la temperatura de las secadoras debido a esto aunque son proporcionales se dan en menor medida y tiempo de respuesta, lo que sí podría presentarse es un desgaste obvio en el motor debido a constantes conmutaciones. Si se toma la opción de dejarla encendida y se anula la entrada de aire obstruyendo el orificio de entrada o variando la velocidad con ayuda de algún equipo electrónico adicional, la llama descende pero se comienza a generar humo que es atraído por las turbinas de las secadoras, lo que no es una opción ya que este aire normalmente lleva partículas de ceniza de la cascarilla ya quemada la cual es muy abrasiva, con el tiempo produce un desgaste obvio en todo el circuito de aire y en las secadoras.. El hecho más importante es que cada secadora no tiene su propio horno, si una necesita calor pero otra no y ambas se alimentan de aire caliente del mismo horno entonces se crearía un conflicto al intentar regular ambas temperaturas.

La regulación de temperatura más efectiva en relación al tiempo de respuesta y al hecho de necesitar regular individualmente en cada una, se puede obtener con el control de las válvulas instaladas en la entrada de aire caliente de las turbinas de cada secadora. La válvula manual se complementa con un actuador electrónico que recibe una señal de control proveniente del mando principal que depende del nivel de temperatura actual y del setpoint que se requiere en la secadora que está alimentando. El actuador mueve el eje de una válvula tipo mariposa instalada en el ducto en ángulos entre 0 y 90 grados, obstruyendo el paso normal del aire caliente. Para la elección del tipo de actuador se tienen en cuenta el tipo alimentación, el torque que se requiere para realizar el trabajo, el tiempo de respuesta, la señal de control y tipo de instalación.

Figura 16. Actuador rotativo.



NEPTRONIC. Actuator, specifications and installation instructions.

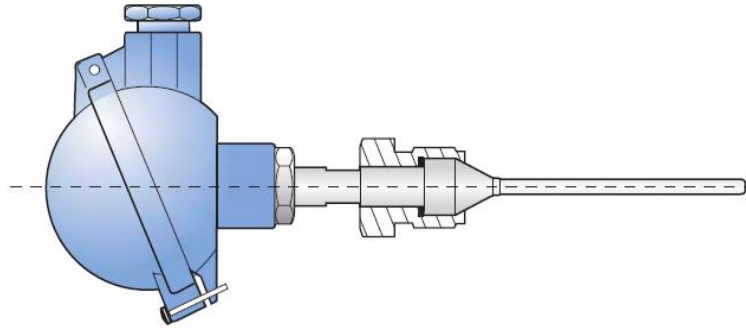
3.4.3 Medición De Temperatura.

Para medir la temperatura de entrada en cada secadora y la de salida en cada horno se utilizan sensores de temperatura del tipo termopar o termocuplas que en su aspecto básico, consisten en la unión de dos alambres de metales distintos, aunque la lista de los materiales empleados puede extenderse indefinidamente se han estandarizado unas pocas combinaciones, la condición indispensable es que los materiales de los conductores deben ser distintos y homogéneos, o sea sin concentraciones de impurezas. Dichos alambres están soldados en un extremo, el cual puede estar expuesto o protegido según el lugar donde se vayan a instalar, luego una vaina o bulbo protege una determinada extensión de los alambres, con el fin de protegerlos y/o aislarlos. Los cables pueden llegar a una bornera dentro de un cabezal o simplemente salir del bulbo según la conexión final que se quiera utilizar. La termocupla produce en el extremo de los cables que están separados, una fem (que se puede medir en milivoltios) que depende de la diferencia de temperaturas entre la soldadura y el final de los alambres. Como el sentido de la tensión es importante, para no confundirlos se distingue a los conductores con los signos positivo y negativo o se utilizan colores según tablas ya definidas.

Para distinguir el tipo de termocupla, podemos mencionar sus materiales constituyentes: “Una termocupla de Cromel-Alumel”, o también se usa una letra

identificadora: “Una termocupla tipo K”. Esta referencia es la más usada por su fácil construcción y bajo precio, además de tener un amplio rango de medición.

Figura 17. Termocupla.



Intelligent 2-wire In-head Temperature Transmitter IPAQ H/HX, user instructions.

Ya que una señal en milivoltios puede ser fácilmente distorsionada, además para extender el cable de la termocupla se debe usar un cable compensado según su tipo, siendo este cable más costoso que un cable de control del mismo calibre, las entradas comunes en los controladores para señales análogas están en rangos en los que se trabajan niveles de voltaje mucho mayores y para no tener que hacer tablas para la interpretación de la temperatura según su fem de salida o utilizar módulos especiales para entradas de este tipo, se opta por utilizar los llamados transmisores de temperatura. Dispositivos electrónicos configurables, diseñados para amplificar y linealizar la señal de la termocupla, hacer una escala según su tipo, rango de trabajo para la aplicación y hasta corregir el error por juntas frías.

Figura 18. Transmisor de temperatura.



Intelligent 2-wire In-head Temperature Transmitter IPAQ H/HX, user instructions.

3.4.4 Equipo De Control.

El encargado de recolectar todas las señales, interpretarlas, convertirlas a datos numéricos, gestionar estos datos siguiendo una secuencia y condiciones prescritas según la necesidad, convertir estos datos en señales eléctricas o en un paquete de datos para la conexión con los actuadores u otros dispositivos presentes en el proyecto y poder comandarlos para llegar a controlar el proceso, un controlador lógico programable (en adelante se llamará por sus siglas PLC) será el equipo encargado de realizar este trabajo, además de gestionar la comunicación de datos con otras estaciones de control y/o supervisión.

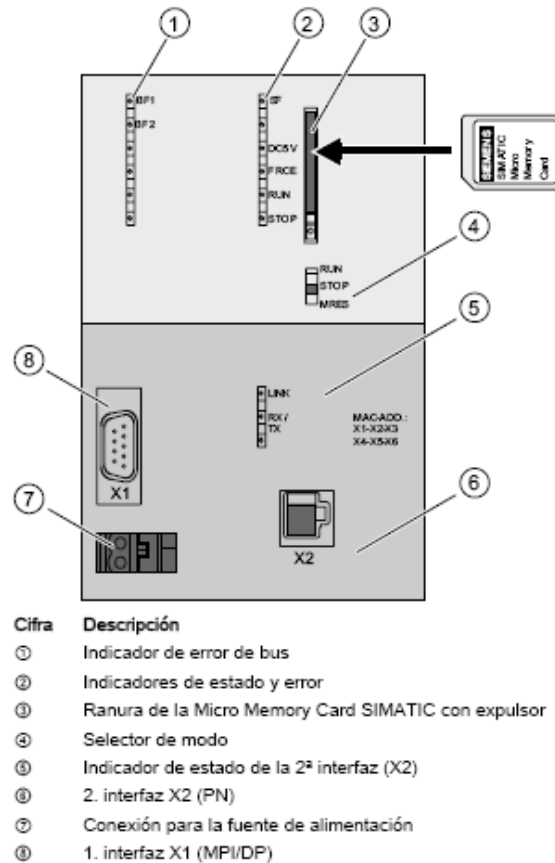
Para elegir que PLC exactamente se debe utilizar primero se tienen en cuenta cuántas entradas y salidas se van a usar y de qué tipo, si son análogas o digitales, revisando los niveles de tensión e intensidad de trabajo y qué tecnología deben usar siendo recomendable que siempre queden algunas disponibles. Luego hay que analizar la capacidad de procesamiento y memoria del PLC, dependiendo de los lazos de control a utilizar, cantidad de variables, tiempos de respuesta, el tipo de operaciones aritméticas o lógicas, lenguaje de programación, funciones o aplicaciones listas para usar, contadores, temporizadores, capacidad de detectar alarmas de proceso y sistema, cuantos puertos y qué tecnologías habrían disponibles para el bus de campo, cuantos y qué tipo de esclavos o maestros tendrá en la red, software y cable de programación... para elegir ya hay que tener una idea muy clara de qué y cómo se va a hacer.

Por último pero no menos importante, la marca y el precio. Las marcas más reconocidas poseen familias de PLCs muy parecidas y organizadas según su capacidad, aunque se dice que todos los equipos de diferentes fabricantes pueden hablar entre sí con el fin de intercambiar datos, normalmente cada uno trae un puerto y tecnología de bus de datos diferente embebido en sus equipos, por ello actualmente el trabajo y el costo son claramente mayores en el caso de una integración, por ello es recomendable usar una familia y marca que cubra todas las necesidades y este quede abierto fácilmente a otros proyectos. Otros puntos como la disponibilidad de equipos y accesorios, el servicio técnico postventa o la facilidad de encontrar información completa en caso de tener dudas o fallas en la instalación y configuración, es también muy recomendable tenerlos en cuenta.

La empresa ya ha invertido en proyectos con la marca Siemens, por eso se opta por dar prioridad a utilizar los equipos de esta marca. El controlador a usar es un S7 - 315 2PN/DP, PLC modular, de gama media-alta, muy buena velocidad y capacidad de procesamiento, gran capacidad de comunicación mediante dos puertos embebidos, una interfaz RS-485 configurable y una PROFINET, donde la comunicación desde el control de procesos hasta el nivel de campo es posible llevarla a cabo a través de redes PROFIBUS, MPI, ETHERNET o TCP/IP. Todo se

configura a través de una interface en el sistema operativo instalado en un PC en el que se pueden intercambiar datos a varios niveles, entre varios equipos de automatización o entre varios dispositivos. El software para configuración del PLC es el STEP 7.

Figura 19. CPU 315 2PN/DP de Siemens.



Configurar el sistema de automatización S7-300: CPU 312IFM - 318-2 DP, manual de instalación.

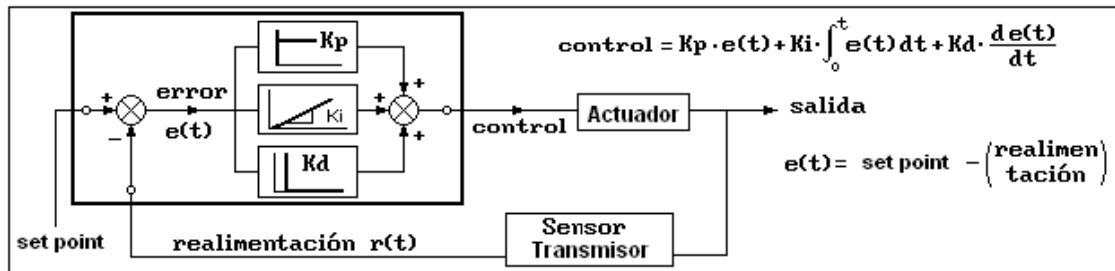
Para la alimentación de los equipos se usa una fuente de 24 VDC, además las entradas y salidas digitales de los módulos de expansión trabajan a este mismo nivel de tensión, las entradas y salidas análogas son configurables mediante el STEP 7 para poder trabajar señales de corriente o voltaje a diferentes niveles.

3.4.5 Pid.

Ya que se requieren resultados relativamente inmediatos y que el error en estado estacionario debe ser constantemente corregido, el control debe ser continuo y trabajando variables análogas, el diseño del sistema debe usar un método de

control adecuado. El PLC que se usa posee reguladores PID dentro de sus funciones que para este caso se ajustan perfectamente al proceso.

Figura 20: Control de lazo cerrado con PID.



El método de control proporcional, integral y derivativo llamado PID se basa en comandar al actuador rotativo instalado en las válvulas de regulación para el paso de aire y al variador que comanda el motor de dosificación de cascarilla en los hornos, teniendo en cuenta la diferencia entre el valor actual de la variable a controlar obtenido mediante el sensor de temperatura y el set point determinado por el usuario para esta misma variable. Esta diferencia o error ($e(t)$) es usada por cada uno de los tres parámetros del PID, luego deben ser multiplicados por una constante en cada caso (K_p , K_i y K_d) que puede ser calculada mediante un análisis matemático y corroborada o complementada experimentalmente.

Mediante la experiencia con este tipo de procesos, realmente la parte teórica tan solo da un valor por el cual comenzar a intentar calibrar el sistema experimentalmente, ya que encontrar la función que describa exactamente el proceso incluyendo todas sus variables es muy complicado y hasta un punto puede llegar a ser innecesario, es más, si se tiene un concepto muy claro en la teoría fundamental para los algoritmos PID y el proceso no exige una regulación perfecta en valores y tiempos de corrección, la parametrización del PID se puede hacer en su mayoría de manera experimental.

El parámetro P responde inmediatamente en la proporción en la que se da el error en ese mismo instante, a mayores valores de este, mayor es el aporte en el PID.

El parámetro I responde en la medida en que el error se ha establecido durante el tiempo, entre más dure el valor de proceso en igualarse al set point mas aporta la parte integral del PID.

El parámetro D responde según la pendiente de la ecuación que describe el error, a cambios bruscos mayor aporte en el PID.

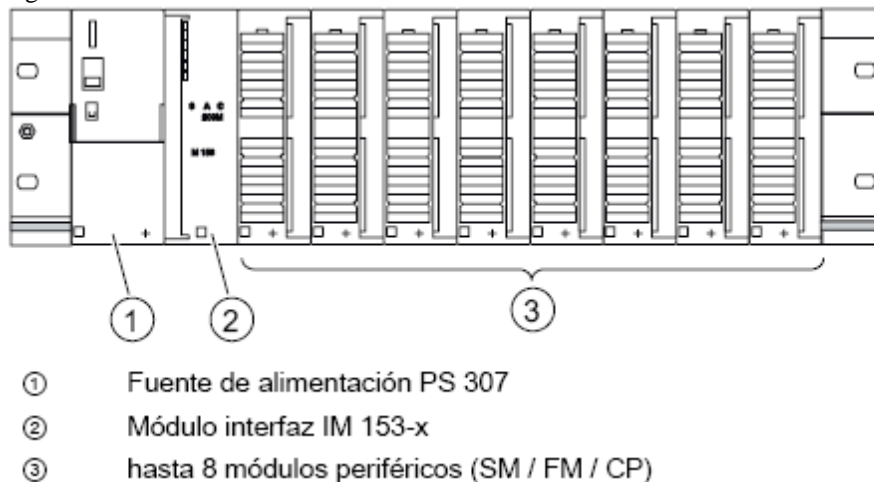
Un valor incorrecto en las constantes conlleva a un comportamiento inapropiado de la variable de proceso, que se puede llegar a expresar en oscilaciones constantes, valores muy altos y/o muy bajos debidos a perturbaciones o que simplemente la respuesta sea demasiado lenta o rápida para el proceso por eso se debe primero saber que afecta en mayor medida para comenzar a corregir ese problema.

En este caso se busca que con el tiempo se alcance y se establezca el valor de temperatura, como este proceso no es tan crítico en la precisión y exactitud que deben cumplir los parámetros de secado ya que un error no mayor al 5% y una temperatura pico no mayor al 10% sobre el set point durante un periodo relativamente largo son admisibles, teniendo en cuenta además que el actuador tiene también un tiempo de respuesta para girar la válvula de un punto a otro y que aunque el variador por su parte reacciona inmediatamente la cascarilla que va entrando al horno no se quema de esta manera, se puede decir que la mayor parte de la corrección la deben hacer la parte proporcional del control, sobretodo en el arranque de la regulación, y la parte integral, que se encarga de mantener un error cercano a cero luego que el sistema de control valla acomodando la posición de la válvula de regulación de aire caliente a una apertura optima según las condiciones exigidas. En menor medida la parte derivativa corregirá las posibles perturbaciones en el sistema, que en este caso no son muy comunes y se deben mas a mantenimientos o problemas en la operación de las maquinas, pueden ser perturbaciones muy pequeñas debidas a cambios en el flujo de producto o porque se enciende o se apaga una secadora variando la distribución de cantidades correspondientes al caudal de aire en el circuito al cual están conectadas.

3.4.6 Control Descentralizado.

Debido a las grandes distancias entre los puntos de adquisición, recolección y entrega de señales, el cableado puede ser complicado, las perturbaciones electromagnéticas pueden afectar a la fiabilidad debido al ambiente en el que se encuentran y los bajos niveles de tensión a trabajar para la parte de control, donde una diferencia del orden de los milivoltios puede llegar a afectar el análisis de los datos, se opta por usar módulos de comunicaciones adicionales ET 200M o modulo de periferia descentralizada, que se instalaran remotamente al PLC y servirán como nodo de entrada y salida para las señales.

Figura 21: ET200M de la familia IM 153 de Siemens.



Sistema de periferia descentralizada ET 200M, Instrucciones de servicio.

Por periferia descentralizada se entienden los sistemas maestros compuestos por un maestro DP y uno o varios esclavos DP unidos por un cable de bus y que se comunican entre sí en este caso mediante el protocolo PROFIBUS DP.

Tan solo el costo del cable que se necesita para llevar las señales que se encuentran alejadas del PLC justifica la inversión en el dispositivo de periferia descentralizada, sin contar las horas en mano de obra y la capacidad de soportar módulos de ampliación fácilmente.

3.4.7 Equipos De Supervisión.

El aumento de la información en el proceso y las mayores exigencias de funcionalidad, hacen imprescindible una máxima transparencia para su manejo. La interfaz hombre-máquina ofrece una solución. Un sistema HMI representa la interfaz entre el operador y el proceso, donde el autómatas posee el verdadero control. Por lo tanto existe una interfaz entre el operador y el panel, y una interfaz entre panel y el autómatas.

Un sistema HMI se puede encargar de:

- Representar procesos: el proceso se representa en el panel de operador. Si se modifica por ejemplo un estado en el proceso, se actualizará la visualización en el panel de operador.

- Controlar procesos: el operador puede controlar el proceso a través de la interfaz gráfica de usuario. Por ejemplo, el operador puede especificar un valor teórico para el autómatas o iniciar un motor.
- Emitir avisos: si durante el proceso se producen estados de proceso críticos, automáticamente se emite un aviso según su configuración.
- Archivar valores de proceso y avisos: el sistema HMI puede archivar avisos y valores de proceso mediante el uso de la memoria instalada. De esta forma se puede documentar el transcurso del proceso y, posteriormente, también será posible acceder a anteriores datos de producción.
- Documentar valores de proceso y avisos: el sistema HMI permite visualizar avisos y valores de proceso en informes.

Las HMI pueden conectarse directamente a un sistema automatizado, bajo una red que ya está montada. Con los correspondientes botones o elementos de visualización, se puede tener acceso directo a la CPU.

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Acquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Un SCADA normalmente contiene:

- Editor Gráfico para la fácil generación de imágenes del proceso
- Sistema de Mensajes con posibilidad de almacenamiento
- Almacenamiento de valores medidos, que pueden ser transmitidos a otros

programas que tenga el ordenador como Excel, para ser procesados permitiendo realizar cálculos o gráficos complejos con gran exactitud.

- Sistema de creación de informes.
- Opciones para la configuración del funcionamiento básico, ya que algunos sistemas SCADA tienen la capacidad de enviar señales de aviso o control a otros dispositivos de la red como el PLC.

- Base de Datos común

Una vez claro que las HMI son cualquier tipo de dispositivo que conecte al operario directamente con los datos del controlador y que un SCADA es un software especialmente diseñado para instalarse en una HMI (que tenga buenas prestaciones) y facilitar esta comunicación, se establecen los puntos donde se deben ubicar estos dispositivos. Para la supervisión en tiempo real del sistema, en el rack del PLC se escoge una pantalla con tecnología touch screen o sensible al tacto marca Siemens MP370 en la cual se podrán visualizar detalladamente cada una de las etapas de secamiento además de controlar directamente algunos de los equipos y configurar parámetros importantes para el lazo de control. Con el mismo fin pero no solo apuntando a un análisis de los datos instantáneos se instala un PC en la oficina del jefe de planta, directo responsable de la producción de la misma. Para la estación remota que se toma como un punto de adquisición de datos pero debido a las grandes distancias a recorrer hasta la estación principal o la estación de supervisión se instala una pantalla también de tecnología touch screen Siemens TP177, con menos prestaciones en cuanto a visualización y manejo que la pantalla principal y el PC.

La diferencia entre las HMI y la supervisión mediante PC está más que todo en la capacidad del equipo. Más capacidad en memoria y procesamiento de datos, mejores instrumentos gráficos y mejor respuesta para un PC, pero no tiene las mismas cualidades de fabricación ante entes externos como el polvo, el calor o el agua que si tienen las pantallas industriales o HMI.

Los dispositivos se configuran con la herramienta de software determinada para cada fabricante. En el caso de las HMI instaladas en planta, estas se configuran mediante el software Wincc Flexible, mientras que el SCADA montado en la red administrativa e instalado en un PC ubicado en las oficinas usa el software Wincc Explorer.

3.5 STEP 7

Es el software estándar para programar y configurar los sistemas de automatización SIMATIC. Este software comprende una serie de aplicaciones o herramientas que permiten implementar soluciones, reuniendo en un proyecto todos los datos y ajustes necesarios. Dentro de dicho proyecto, los datos se estructuran por temas y se representan en forma de objetos.

3.5.1 Administrador Simatic.

Es el interface de acceso a la configuración y programación. Éste permite:

- Crear y gestionar proyectos
- Configurar y parametrizar el hardware y la comunicación
- Gestionar símbolos
- Crear programas
- Cargar programas en sistemas de destino
- Comprobar el sistema automatizado
- Diagnosticar fallos de la instalación

Los lenguajes de programación KOP, AWL y FUP para S7-300/400 son parte integrante del software estándar.

- KOP (esquema de contactos) es un lenguaje de programación gráfico. La sintaxis de las instrucciones es similar a la de un esquema de circuitos. KOP permite observar la circulación de la corriente a través de contactos, elementos complejos y bobinas.

- AWL (lista de instrucciones) es un lenguaje de programación textual orientado a la máquina. En un programa creado en AWL, las instrucciones equivalen en gran medida a los pasos con los que la CPU ejecuta el programa. Para facilitar la programación, AWL se ha ampliado con estructuras de lenguajes de alto nivel (tales como accesos estructurados a datos y parámetros de bloques).

- FUP (diagrama de funciones) es un lenguaje de programación gráfico que utiliza los cuadros del álgebra booleana para representar la lógica. Asimismo, permite representar funciones complejas (p.ej. funciones matemáticas) mediante cuadros lógicos.

3.5.2 Hw - Config.

Se utiliza para configurar y parametrizar el hardware de un proyecto de automatización. Se dispone de las siguientes funciones:

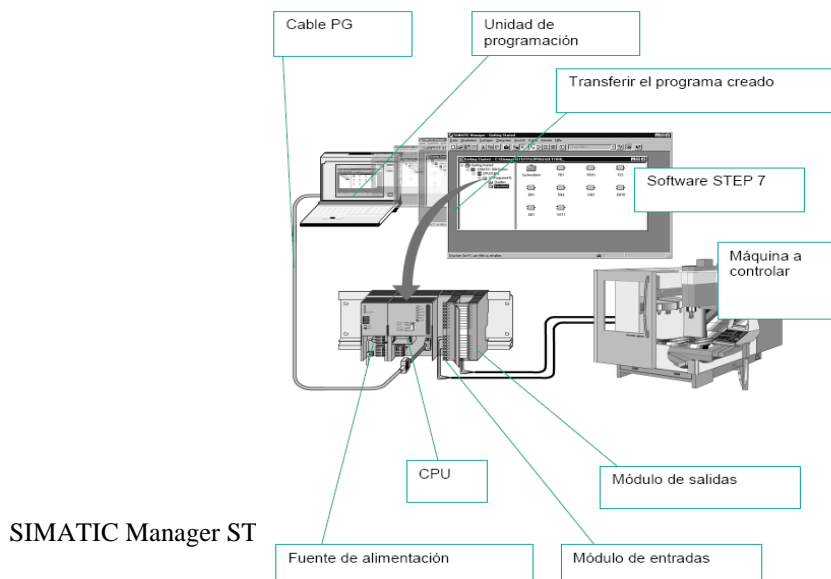
- Para configurar el sistema de automatización, se eligen primero los bastidores (racks) de un catálogo electrónico y luego se asignan los módulos seleccionados a los slots de los bastidores.

- La configuración de la periferia descentralizada se efectúa del mismo modo. También se asiste la periferia canal a canal (granular).

- Al parametrizar la CPU se pueden ajustar mediante menús propiedades tales como el comportamiento en el arranque y la vigilancia del tiempo de ciclo. Se asiste el modo multiprocesador. Los datos introducidos se depositan en bloques de datos del sistema.

- Al configurar los módulos de expansión, todos los datos se pueden ajustar en cuadros de diálogo. La parametrización de los módulos se efectúa automáticamente durante el arranque de la CPU.

Figura 22. Esquema de conexión software desarrollo-hardware.



El diagnóstico del hardware permite visualizar el estado del sistema de automatización, mostrando una vista general en la que aparece un símbolo cuando alguno de los módulos presenta un fallo o no. El volumen de información disponible depende del módulo en cuestión.

3.5.3 Netpro.

Los datos se pueden transferir de forma cíclica y temporizada a través de MPI, permitiendo seleccionar las estaciones que intervienen en la comunicación e introducir la fuente y el destino de los datos en una tabla. La creación de todos los bloques a cargar y su transferencia completa a todas las CPUs se efectúa de forma automática.

Además, existe la posibilidad de transferir los datos de forma controlada por eventos, pudiéndose definir los enlaces de comunicación, seleccionar los bloques de comunicación o de función de la librería de bloques integrada, parametrizar en el lenguaje de programación habitual los bloques de comunicación o de función seleccionados.

3.5.4 Símbolos.

Con el editor de símbolos se gestionan todas las variables globales. Se dispone de las siguientes funciones:

- Definir nombres simbólicos y comentarios para las señales del proceso (entradas y salidas), las marcas y los bloques,
- Funciones de ordenación,
- Importación/exportación de/hacia otros programas de Windows.

Todas las herramientas pueden acceder a la tabla de símbolos creada. Por consiguiente, detectan automáticamente si se ha modificado un parámetro de un símbolo.

3.6 Wincc.

El software de desarrollo a utilizar en las HMI y el PC de supervisión son diferentes pero tienen el mismo principio, una interfaz muy parecida y los pasos a seguir para la creación de un proyecto son los mismos, según el diseño para este trabajo la diferencia está en que cada uno se centrará en utilizar distintas herramientas. Cabe señalar que el Wincc es para sistemas SCADA mucho más

completos y complejos ya que se dirige a la configuración de un sistema de supervisión en general, teniendo mayor cantidad de funciones para cada herramienta o elementos que se puedan crear, además en el tipo y capacidad de su base de datos ya que esta se encarga de archivar y administrar, mientras que el Wincc flexible está dirigido a crear las interfaces para paneles ubicados en planta y manejar procesos más específicos sin grandes cantidades de información.

El entorno de trabajo para el software de desarrollo se compone de varios elementos. Algunos de estos están acoplados a determinados editores y sólo son visibles cuando el editor correspondiente está activo.

3.6.1 Variables.

Las variables externas hacen posible la comunicación, es decir, el intercambio de datos entre los componentes de un proceso de automatización, por ejemplo, entre el panel de operador y el autómeta.

Como las variables externas son la imagen de una posición de memoria del autómeta, los tipos de datos que se pueden utilizar dependerán del autómeta al que esté conectado el panel de operador.

3.6.2 Imágenes.

Las imágenes son los elementos principales del proyecto. Permiten manejar y visualizar la planta de producción. Las imágenes contienen objetos tales como campos de entrada/salida, de texto o de visualización que indican estados en las variables.

La imagen se puede componer de elementos estáticos y dinámicos.

- Los elementos estáticos, tales como los textos y los gráficos, no cambian en runtime (cuando el programa esta activado y en línea con el PLC).

- Los elementos dinámicos van cambiando en función del desarrollo del proceso. Los valores de proceso actuales se visualizan desde la memoria del autómeta o desde la memoria del panel de operador mediante indicadores alfanuméricos, curvas y barras. A los objetos dinámicos pertenecen también los campos de entrada del panel de operador.

Todas las imágenes configuradas se deben integrar en la secuencia de mando para que el operador pueda acceder en runtime a una imagen en el panel de operador, mediante el editor "Navegación de imágenes" para definir la jerarquía de imágenes y configurar toda la navegación o por el editor "Imágenes" para configurar en las imágenes los botones de comando y las teclas de función para acceder a las demás.

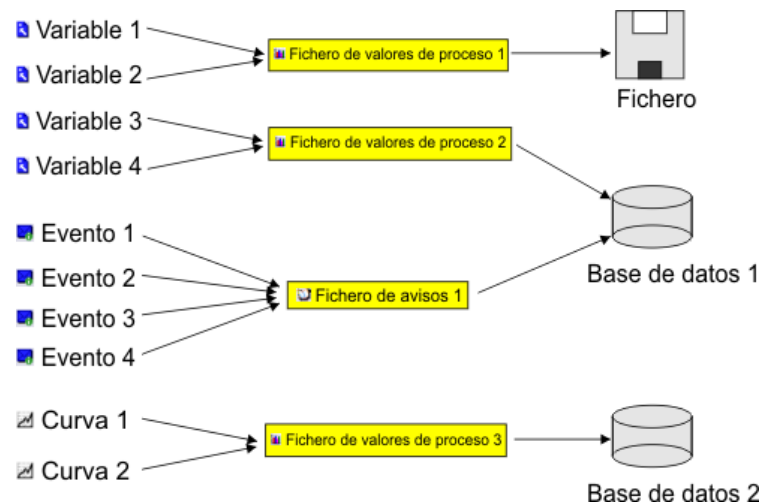
3.6.3 Archivo.

El sistema de archivo es responsable en runtime del archivado de valores de proceso. El sistema de archivo procesa los valores de proceso almacenados de manera temporal en la base de datos de runtime y los guarda en la base de datos de archivo.

Los siguientes componentes de participan en el archivado de valores de proceso:

- PLC: contiene los valores actuales del proceso.
- Administrador de datos: gestiona los valores y se los suministra al sistema de archivo por medio de variables de proceso.
- Sistema de archivo: procesa los valores recogidos durante un periodo predeterminado hallando su promedio, máximos, mínimos, etc.
- Base de datos: almacena los valores de proceso que han de archivar.

Figura 23: Manejo de archivos en WinCC.



Wincc V7.0 SP2, Information system.

Que se recojan y archiven o no valores de proceso y el momento en que esto ocurre depende de diferentes parámetros. La configuración o no de los siguientes parámetros depende de los métodos de archivo utilizados:

- Ciclo de adquisición: determina cuándo se consulta el valor de una variable de proceso en el autómata programable.
- Ciclo de archivado: determina cuándo se almacena el valor de proceso procesado en la base de datos de archivo.
- Evento de inicio: inicia el archivo de proceso cuando se da un determinado suceso.
- Evento de parada: termina el archivo de proceso cuando se da un determinado suceso.
- Los datos del fichero se almacenan o en una base de datos (sólo para PC) o en un archivo. Los datos almacenados se pueden seguir editando en otros programas

3.6.4 Grafico De Tendencias.

Una curva es la representación gráfica de valores que adopta una variable. Para representar las curvas se configura una vista de curvas en una imagen del proyecto, esta reproduce los valores archivados durante una ventana de tiempo ajustable. En runtime, el operador puede desplazar y modificar la ventana de tiempo para obtener los valores deseados del fichero.

En la configuración de la vista de curvas se define el tipo de curva de los valores a representar:

- Fichero: para representar los valores archivados de una variable
- Tiempo real cíclico: para la representación de valores controlada por tiempo
- Tiempo real disparado por bit: para la representación de valores controlada por eventos
- Búfer disparado por bit: para la representación disparada por eventos con adquisición de datos respaldada.

3.6.5 Avisos.

El sistema de avisos procesa los resultados de las funciones que controlan los acontecimientos durante el proceso, en los niveles de automatización y en el sistema de visualización. El sistema de avisos muestra óptica y acústicamente los eventos de aviso registrados y los archiva. Los accesos opcionales a los avisos y a la información adicional sobre avisos individuales permiten una rápida localización y reparación de las averías.

Según la clase de aviso, los cambios que aparezcan en relación al estado de avisos se registrarán en archivos configurables.

El archivo de avisos tendrá lugar en la memoria de la HMI. Para ello se fijarán distintos parámetros como el tamaño, el margen de tiempo, el momento de cambio de conexión, entre otros. Si se sobrepasa uno de los criterios configurados, se sobrescribirán los correspondientes avisos más antiguos del fichero, se pueden hacer respaldos de la información, enviar un mensaje de alarma o saltar a un nuevo fichero.

La visualización de los avisos guardados en un archivo de avisos se realiza en una lista de ficheros a largo plazo o a corto plazo. La vista de los datos en una lista de ficheros a corto plazo se actualiza inmediatamente cuando entra un nuevo aviso

Se distingue entre los siguientes tipos de avisos:

- Los avisos de bit indican los cambios de estado en variables digitales.
- Los avisos analógicos indican si se han rebasado los valores límite en variables análogas.

Clases de aviso predefinidas en WinCC flexible y Wincc:

- "Errores" para avisos binarios y analógicos que indiquen estados operativos o estados de los procesos críticos o peligrosos. Los avisos de esta clase siempre deben ser acusados.
- "Advertencias" para avisos binarios y analógicos que indiquen estados operativos, estados del proceso y procesos normales. Los avisos de esta clase no deben acusarse.

- "Sistema" para avisos de sistema que informan acerca de los estados operativos del panel de operador y de los autómatas. Esta clase de aviso no se puede utilizar para avisos personalizados.

- "Eventos de diagnóstico" para avisos de diagnóstico S7 (línea de autómatas programables de Siemens) que indican los estados y eventos de los autómatas SIMATIC S7 o SIMOTION. Los avisos de esta clase no deben acusarse.

De las clases de avisos predefinidas sólo pueden modificarse determinadas propiedades.

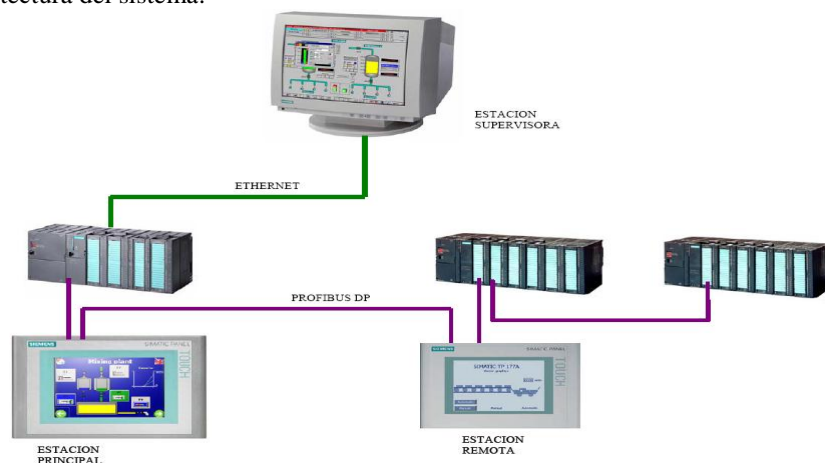
4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Concluida la etapa de diseño se prosiguió a la interconexión de todos los equipos del sistema de automatización, que resumiendo consiste en la programación, instalación y puesta en marcha de un sistema de control de temperatura, compuesto de 18 sensores tipo termocupla K, 18 transmisores de temperatura, 14 actuadores eléctricos, un PLC, 2 módulos de comunicaciones para periferia descentralizada, 3 fuentes de alimentación a 24 VDC, módulos de entrada y salida análogos y digitales para cada estación, 2 pantallas de supervisión, software de supervisión SCADA, 3 variadores de velocidad, 6 sensores de nivel. Todos estos equipos interconectados para el control de tres hornos de secado, tres torres (tener en cuenta que la primera torre es doble) y 12 albercas de secamiento.

El sistema consiste básicamente en dos puntos de recolección de señales y control y uno de supervisión compuesto de la siguiente manera:

Figura 24: Arquitectura del sistema.



4.1.1 Estación Principal.

En esta estación se ubica el tablero principal, debidamente cableado e identificado, con todos los accesorios de montaje para la protección de los equipos, con la fuente, la CPU y los módulos de adquisición y salida de señales. Esta estación es el control principal de todo el sistema, en donde se recoge la información directa de las temperaturas a través de los transmisores provenientes de las secadoras de torre 1A, 1B, 2 y un horno de cascarilla. El sistema se encarga de controlar la entrada de aire caliente a las turbinas por medio de los actuadores eléctricos montados en la tubería de aire, al mismo tiempo se encarga de dosificar de manera continua la alimentación de cascarilla del horno regulando su temperatura con base en la demanda de aire caliente que le exijan las secadoras y torres correspondientes, supervisando el llenado de la tolva de alimentación del horno, utilizando dos sensores de nivel.

Por otro lado, supervisa y controla las temperaturas de las secadoras, horno y torre restantes a través de los datos enviados por las estaciones remotas encargadas de recolectar y distribuir las señales correspondientes. Esta filosofía de conexión es conocida como periferia descentralizada, es decir recolección de señales sean análogas o discretas utilizando un bus de campo, que en este caso es PROFIBUS DP.

Adicionalmente, esta estación contará con una pantalla de supervisión touch screen a color, de 12" capaz de supervisar y controlar el proceso de secamiento. Esta HMI, esta comunicada por PROFIBUS DP a la CPU de la estación maestra. Esta pantalla mostrará detalladamente todo el proceso y sus tendencias, con ello podrán tomar medidas y ejecutar acciones del proceso interactuando con algunos parámetros del PLC.

Por último aprovechando el puerto ethernet del PLC y la red ya existente en las oficinas se establecerá la comunicación con el computador de supervisión con el SCADA situado en el puesto de trabajo del jefe de producción de la planta.

4.1.2 Estaciones Remotas.

Consisten en dos tableros, compuestos por el módulo de periferia descentralizada, módulos de entradas y salidas todas debidamente cableado y protegido. Este punto se encargará de recolectar las temperaturas de las secadoras de alberca enumeradas de la 1 a la 12 y los hornos 1 y 2. Adicionalmente, distribuye las señales necesarias para controlar el ingreso del aire caliente mediante actuadores eléctricos situados a la entrada de aire de las turbinas de cada una de las

secadoras de alberca, para mantener de manera constante la temperatura de secamiento. Lo mismo para los variadores de velocidad de los hornos.

La estación remota más lejana cuenta con una pantalla de supervisión de menor desempeño que la pantalla de la estación principal, pero suficiente para la supervisión puntual de las temperaturas y la posición de los actuadores.

4.1.3 Estación Supervisora.

Por último esta estación es la encargada de supervisar todo el proceso desde un solo punto, un PC toma el puesto de servidor para los datos y también como interfaz para la visualización de los mismos.

La estación principal esta comunicándose con la estación de supervisión utilizando una red ETHERNET, con el computador designado.

4.2 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS

4.2.1 Termocuplas.

Las termocuplas son instaladas dentro del túnel para las secadoras de alberca, entre dos y tres metros del comienzo del mismo, en el lado de la turbina por el que entra el aire caliente. Con esto se asegura una combinación de ambos aires que será el verdadero aire de secado pero de todas maneras se tiene como referencia el aire del horno con el fin de analizar mucho más fácil los cambios ejercidos por los actuadores.

Para las torres las termocuplas se sitúan entre el tercer y quinto panel de abajo hacia arriba, donde el aire proveniente del horno ya se ha mezclado con el aire ambiente y teniendo en cuenta que la entrada de aire se da desde el primer panel.

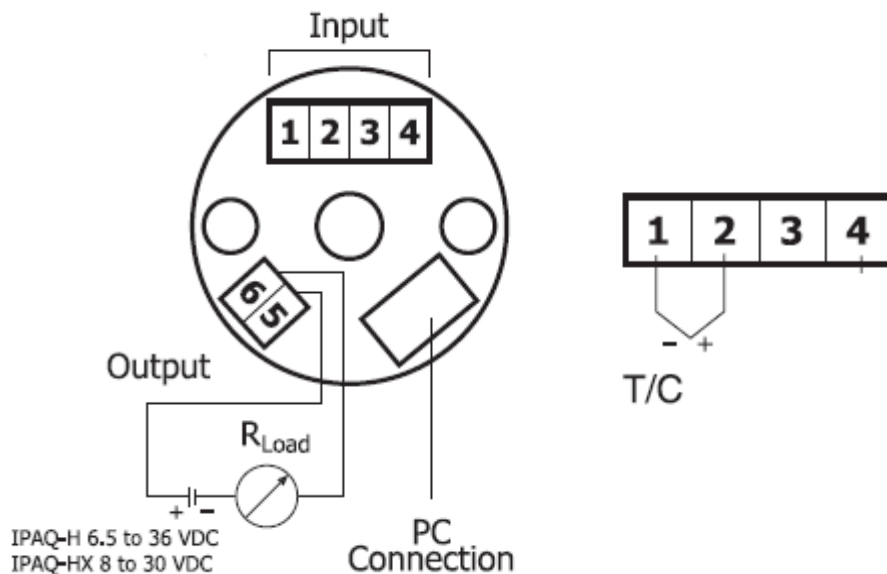
En los hornos las termocuplas se sitúan en el ducto de salida de aire caliente, esta medida rige los límites de trabajo del equipo ya que los datos que arroja son muy relativos a posibles cambios en las condiciones ambientales y problemas en la ductería o en el horno, un límite bajo o un cambio brusco que disminuye la temperatura significa que el horno está apagado o estado durante un tiempo sin combustible. Se establece un límite máximo que una vez alcanzado inmediatamente se actuara sobre la alimentación de cascarilla para disminuir la temperatura y proteger el equipo.

4.2.2 Transmisores.

Los transmisores tienen dos tipos de montaje, en riel omega o dentro del cabezal de la termocupla. Para las secadoras de alberca se opta por los de montaje en riel, con el fin que este quede fuera del túnel, dentro de una caja de paso, se toma esta medida para facilitar un posible mantenimiento. Tener en cuenta que el cable que va de termocupla a transmisor es cable compensado especial para ese tipo de termocupla y se usan unos pocos metros. Para las torres y hornos se montan en el cabezal.

Para la conexión eléctrica se tiene en cuenta la polaridad de la termocupla, donde normalmente para las tipo K el negativo es el cable con aislante rojo y el positivo es el amarillo.

Figura 25: Conexión eléctrica transmisor.



Intelligent 2-wire In-head Temperature Transmitter IPAQ H/HX, user instructions.

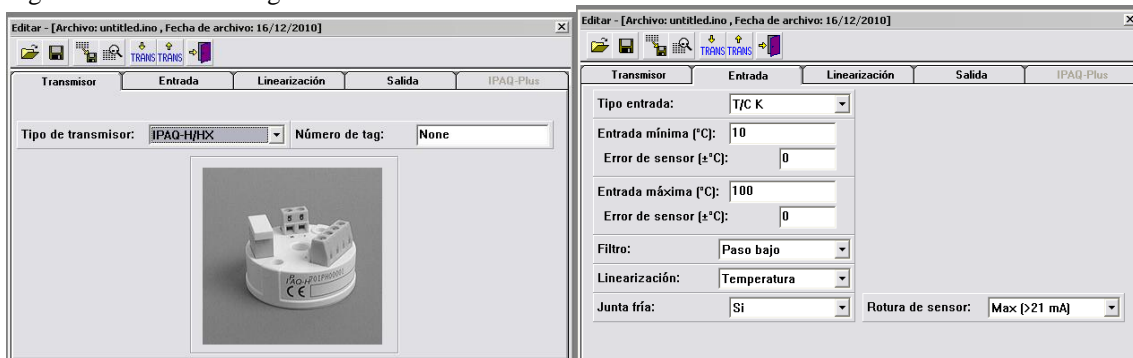
La carga en este caso son los bornes de entrada al módulo análogo del PLC, donde la conexión se configura a dos hilos, es decir, que la alimentación del dispositivo y la señal de control van por el mismo par de cables, para esto la señal de control debe ser de corriente, en este caso de 4 a 20 mA, donde 4 mA corresponden al límite mínimo de temperatura según la configuración del transmisor y 20 mA al límite máximo. Esta señal es muy práctica para determinar problemas en los conductores de conexión ya que de presentarse algún corte o

pérdida de señal la corriente sería cero y no sería lo mismo que estar midiendo una mínima temperatura.

Para la configuración del transmisor hace falta tener un PC con el software Ipro y el cable de conexión serial PC-transmisor, además de una fuente de 24 VDC.

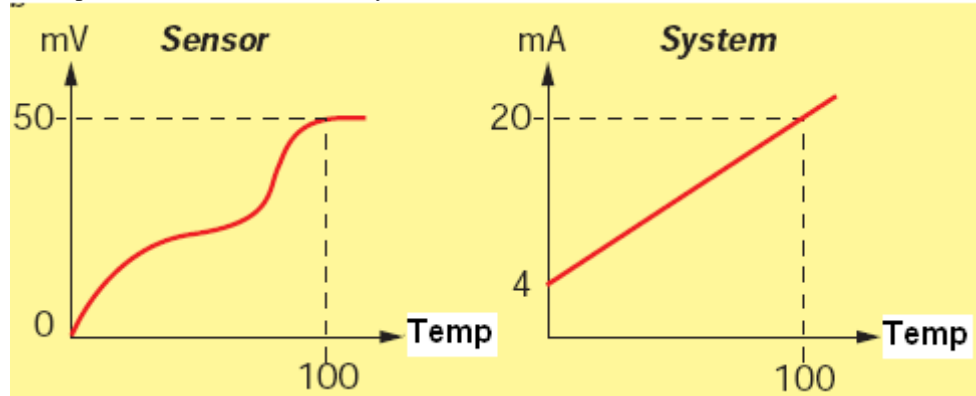
Primero se configura por cual puerto del PC se va realizar la comunicación, se conecta la fuente de voltaje en los bornes de salida teniendo en cuenta la polaridad. Se conecta el cable comunicación al puerto de comunicación del transmisor y del PC.

Figura 26: Interfaz configuración transmisores.



Una vez iniciado el software de configuración se escoge que tipo de transmisor es y su referencia, luego determinamos el tipo de sensor a conectar, el límite mínimo y máximo, la posibilidad de un ajuste o calibración en la medida, un filtro para corregir posibles interferencias, la linearización usada en esta referencia es estándar por temperatura, así como la salida que siempre será de 4 a 20 mA, la posibilidad de corregir error por junta fría, el cual se da cuando los metales especiales de la termocupla se conectan a bornes de equipos o se hacen empalmes con materiales distintos a estos. Cuando el transmisor detecta que la entrada de milivoltios de la termocupla es demasiado baja o nula inmediatamente avisa al control no enviando una señal pequeña si no una señal mayor a la que se presentaría si se diera la mayor temperatura posible, con esto se puede diagnosticar fácilmente esta falla.

Figura 27: Comparación señales de entrada y salida transmisor.



Intelligent 2-wire In-head Temperature Transmitter IPAQ H/HX, user instructions.

4.2.3 Actuadores.

Los actuadores se acoplan al eje de la válvula o dámper que se encuentra antes de llegar a la turbina de las secadoras, en la tubería que transporta aire caliente. El actuador se monta sobre una base en la tubería, donde en un extremo se acopla al eje y en el otro extremo se acopla a la base pero es importante que el actuador pueda tener un pequeño movimiento en este punto para que las transmisiones internas del actuador no se vean afectadas al arrancar el movimiento.

Figura 28: Instalación actuador.

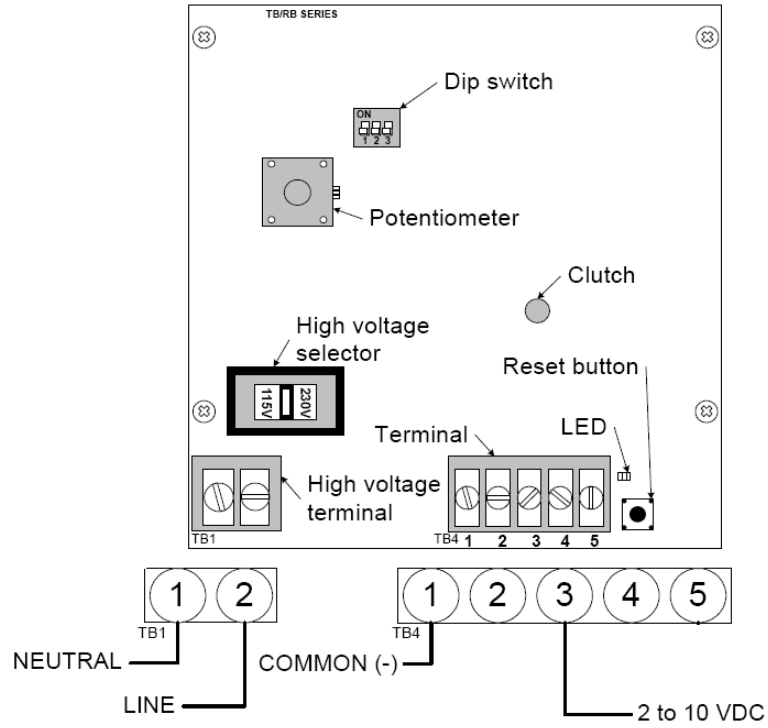


Se sitúa el selector del voltaje de alimentación en 220 VAC, los pines del dip switch todos en off, el primero se refiere al sentido de giro, en este caso off es giro en el sentido de las manecillas de reloj, el segundo aplica si en caso de un corte en la alimentación el actuador retorna a una posición inicial, el tercer switch se refiere a un parámetro de tiempo en caso de usar un PWM (modulación de ancho de pulso) como método de control.

De fábrica el actuador viene configurado para una conexión a dos hilos con señal análoga de control de 2 a 10 Voltios o 4 a 20 mA colocando una resistencia de 500 ohmios en paralelo a la entrada.

El botón de clutch sirve para desencajar la transmisión y poder mover el eje en caso que la posición cero se pierda. El botón de reset hace un barrido de la posición inicial a la final según los límites configurados.

Figura 29: Conexión eléctrica actuador.

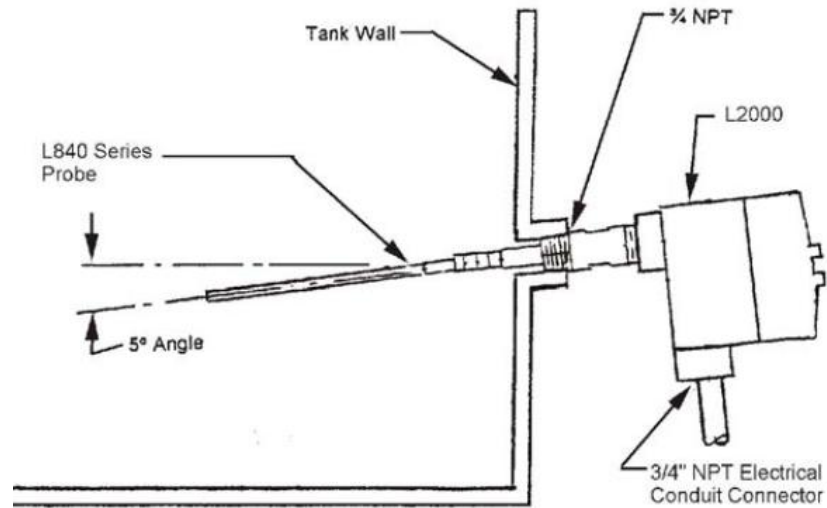


NEPTRONIC. Actuator, specifications and installation instructions.

4.2.4 Interruptores de nivel.

Los interruptores de nivel para el llenado automático de la tolva de cascarilla del horno son de tipo RF (radiofrecuencia), modelo L2000 de Princo, y se instalan según la siguiente figura.

Figura 30: Instalación interruptor de nivel.



PRINCO INSTRUMENTS INC. Instruction Manual.

La razón por la que debe quedar inclinado es para evitar estancamiento de material en la sonda. La alimentación del sensor va en los terminales H y N correspondientes a un nivel de máximo 230 VAC. Es fundamental siempre aterrizar esta clase de equipos según lo indiquen sus manuales de instalación. El led de estatus indica el estado de las salidas que en este caso son contactos auxiliares normalmente abiertos y cerrados.

Figura 31: Conexión eléctrica interruptor de nivel.



El aspecto más importante en la instalación de este equipo es realizar una correcta calibración. Para ello el sensor cuenta con dos perillas (una de sintonía fina y una gruesa) que se pueden girar para regular el punto en el que el equipo debe reconocer el cambio de ausencia a existencia de material en la sonda. Esto se debe hacer ya que el fabricante ofrece este equipo para poder sensor cualquier tipo de material y como no todos responden de la misma manera a cambios en la señal de frecuencia que viaja por la sonda debido a la densidad del material es necesario hacer una calibración.

Para su calibración, se alimenta el sensor, se introduce la sonda en cascarilla, se ponen ambas perillas al mínimo para que se este seguro que no podrá detectar nada, se comienza a mover la perilla de sintonía gruesa hasta que el led de estatus cambie indicando que ya reconoció el material, se retorna un poco esta perilla hasta que deje de indicar que lo esta sensando, luego se comienza a mover la perilla de sintonía fina hasta que el sensor reconozca de nuevo el material, luego se gira en el mismo sentido un poco más la perilla de sintonía fina para asegurar este estado.

4.2.5 Variadores. Los variadores de velocidad que controlan el motoreductor de alimentación se instalan remplazando el sistema de accionamiento antiguo dentro de los gabinetes de control que ya existen para cada horno.

Figura 32: Tablero ya existente para control del horno.



Estos variadores solo necesitan dos fases de entrada para un nivel tensión de 220 VAC ya que internamente el variador genera una tercera fase para alimentar el motor. La entrada de control proveniente del PLC es de 0 a 10 VDC, llegando a los terminales 10 y 9 de la bornera de control, teniendo en cuenta la polaridad. La señal de encendido se da cerrando el circuito entre los terminales 6 y 3 del variador, esto lo hace un relé ubicado en los racks de la estación principal y remota según sea el horno. El relé es comandado por el PLC. La salida digital del variador, entre los pines 2 y 1, se usa para avisarle al PLC que el variador ha entrado en falla.

Para que el variador trabaje según lo planeado hay que configurar primero algunos de sus parámetros a través del panel de operación.

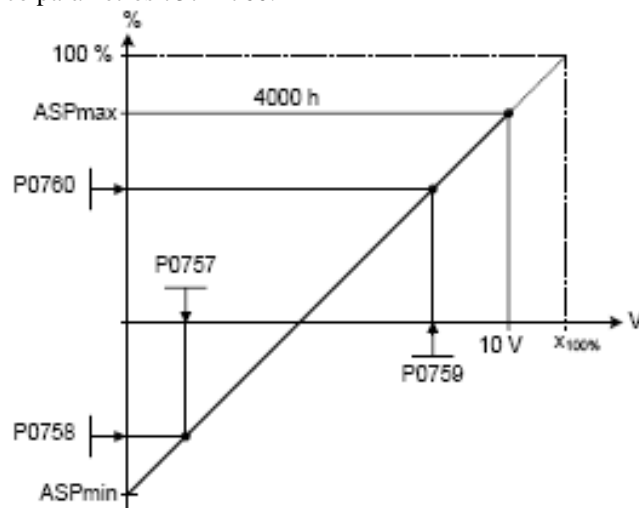
Tabla 2. Lista de parámetros a configurar en el variador.

PARAMETRO	DESCRIPCION BREVE	VALOR
P0010	Inicio de la puesta en servicio	1 (comenzar)
P0100	Operación en frecuencia/potencia	3 (60 Hz/pot en Kw)
P0304	Tensión nominal del motor	Valor de placa (en Voltios)
P0305	Corriente nominal del motor	Valor de placa (en Amperios)
P0307	Potencia nominal del motor	Valor de placa (en Kw)
P0310	Frecuencia nominal del motor	Valor de placa (en Hz)
P0311	Velocidad nominal del motor	Valor de placa (en RPM)
P0700	Fuente de ordenes	2 (terminales)
P0757	Valor x1 escalado de la ADC	0 Voltios
P0758	Valor y1 escalado de la ADC	10 %
P0759	Valor x2 escalado de la ADC	10 Voltios

P0760	Valor y1 escalado de la ADC	70%
P1000	Consigna de frecuencia	2 (consigna analógica)
P1080	Frecuencia mínima de trabajo para el motor	5 Hz
P1082	Frecuencia máxima de trabajo para el motor	50 Hz
P1120	Tiempo de aceleración	5 segundos
P1121	Tiempo de deceleración	3 segundos
P3900	Fin de la puesta en servicio	1 (terminar)

La siguiente grafica describe el significado de los valores x1, x2, y1, y2 de los parámetros entre 757 y el 760.

Figura 33. Esquema grafico parámetros 757 – 760.



Micomaster 420, Instrucciones de servicio.

4.2.6 Instalación racks con protecciones, PLC y ET200M.

Antes de poner a funcionar el PLC, los módulos de ampliación, el ET200M y las HMI hay que instalar los racks o armarios con las debidas protecciones para la alimentación de los equipos y cada una de las entradas/salidas digitales y análogas.

Como primera medida se instala un protector de picos de voltaje y/o transientes para proteger de posibles descargas atmosféricas o picos en la red provocados por la conmutación de bobinas u otras fuentes, este equipo se instala antes o después del breaker principal del rack dependiendo del valor que tiene la protección aguas arriba o del que se toma la derivación. La conexión es en serie o en paralelo con las fases de entrada al rack según lo indique el fabricante y debe tener una conexión a tierra que será el camino que tomara al necesitar hacer la descarga de picos muy altos y de duración muy corta (en el orden de los microsegundos). Estos equipos se escogen principalmente por:

- Voltaje de trabajo, en este caso 220VAC
- Número de fases, 2.
- Corriente de paso máxima, 35 amperios.
- Corriente de ruptura, 10 kA siendo instalación final.
- Tiempo de respuesta, menor a 8 microsegundos.

Se instala un interruptor principal para las dos fases de entrada a un nivel de tensión de 220 VAC para protección contra corto circuito o simplemente como interruptor de alimentación, corriente máxima de 25 amperios ya que de este tablero es recomendable tan solo alimentar los equipos de control.

Luego se instala la fuente que convierte de 220 VAC a 24 VDC que es el nivel de tensión de trabajo para todos los equipos. Teniendo en cuenta que cada uno necesita sistema de protección aparte en este caso se instalan portafusibles con protecciones entre 0,5 A y 2 A según el equipo.

La fuente al igual que el PLC, el ET200M y los módulos de ampliación se instalan sobre un riel con medidas y diseño especial para estos montajes pero no se debe confundir con otros posibles rieles en los cuales se incluye el bus de comunicaciones en el riel, en este caso estos se acoplan directamente entre ellos mediante conectores que cada uno trae de fabrica convirtiéndose estos en el bus de comunicación. La cantidad de módulos posibles a instalar sobre este riel esta medido solo por la longitud a la que se pida y la que tenga cada modulo, además de la capacidad que tenga la CPU para soportarlo. El único detalle a tener en

cuenta es que la fuente debe ir en primer lugar de izquierda a derecha, luego el PLC o la ET200M y luego si los módulos de ampliación en los que es bueno tener un orden según su tipo mas no una obligación. Esto se debe cumplir ya que al momento de configurar el PLC mediante el STEP 7 este solo nos dará la posibilidad de llevar este orden y en caso de no ser correcta la instalación el equipo entrara en falla al encenderlo.

Figura 34. Rack estación principal.



Las entradas y salidas análogas se protegen con portafusibles directamente a los terminales de los módulos, estos reciben o generan una señal DC de tensión o corriente según su configuración en el software STEP 7. Esto si la conexión es a 2 hilos (alimentación y señal de control en el mismo par de cables) porque si es a 4 hilos la protección de alimentación debe ir aparte.

El rango o amplitud de la onda para la señal de control se configura según manual del fabricante del actuador y/o sensor. La conexión eléctrica, la configuración del hardware y la interpretación de la señal a través del programa que se carga en el PLC deben coincidir según el tipo de señal escogida.

Se debe tener en cuenta si el sensor está o no aislado galvánicamente para así mismo saber cómo conectar la masa de la fuente, el modulo y el PLC. Los sensores de medida aislados no están unidos al potencial de tierra local pero puede haber diferencias de potencial entre los distintos sensores. Estas diferencias de potencial pueden surgir a causa de perturbaciones o también debido a la distribución local de los sensores de medida.

Para que al operar en entornos con intensas perturbaciones electromagnéticas no se rebase el valor admisible para UCM, se recomienda interconectar M- y MANA. Donde M- es la conexión negativa o 0 VDC de la fuente y MANA es el punto de referencia del circuito de medición que se encarga de evaluar el nivel de voltaje en la entrada correspondiente.

Los sensores de medida no aislados están unidos al potencial de tierra local. Si se utilizan sensores de medida no aislados, MANA debe conectarse a la tierra local.

Pueden producirse diferencias de potencial UCM (estáticas o dinámicas) entre los puntos de medición distribuidos localmente debido a condiciones locales o a perturbaciones. Si se sobrepasa el valor permitido para UCM, es necesario prever líneas equipotenciales entre los puntos de medición.

Para el cableado se recomienda usar un cable del calibre suficiente (18 awg para distancias no mayores a 150 metros) y que este apantallado, para poder aterrizar el cable al menos en una de sus puntas e impedir que las posibles interferencias que tenga el ambiente afecten la señal.

La CPU sólo puede procesar los valores analógicos en forma binaria por lo tanto los módulos de entradas analógicas convierten una señal del proceso analógica en una señal digital y los módulos de salidas analógicas convierten un valor de salida digital en una señal analógica. Aquí entra en juego la resolución del modulo

que se utilice, la cual se da en bits que representan el dato de la entrada o salida analógica convertida en sistema binario (digital). A mas bits de resolución menor error de medida.

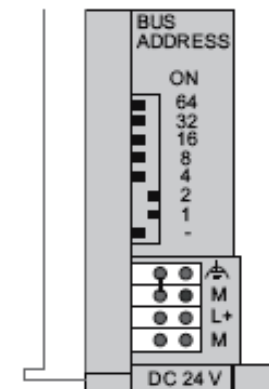
Las entradas digitales trabajan con un común que es el negativo de la fuente que alimenta el modulo, para reconocer un estado activado hay que transmitir 24 VDC de la misma fuente en el terminal de la entrada correspondiente.

En el caso de los módulos de salidas digitales, estos proveen los 24 voltios en el terminal de salida al cual el PLC de la orden de activarse, para no conectar directamente las salidas a la posible carga debido a que estas son de salida a transistor donde solo se pueden trabajar a un nivel de tensión DC de máximo 30 voltios y una corriente recomendable no mayor a 0,5 amperios pero si la carga muy probablemente sobrepasa alguno de estos límites se utilizan relés adicionales para separar un circuito de control (que sería el del modulo) y un circuito de potencia (que sería el de la carga). Aunque todos los módulos tienen protecciones contra cortos, picos de tensión, alimentación inversa o sobrecarga no es recomendable ponerlos a prueba.

Cada modulo de ampliación de entradas y/o salidas necesita un conector de 20 o 40 polos según su referencia, es importante aclarar esto ya que hay que no viene directamente con el modulo y si no se tiene en cuenta no se puede conectar.

La instalación de los racks remotos se realiza de la misma manera, la única diferencia es que donde iría la CPU o PLC en este caso se instalarían los ET200M. En las ET200M hay que configurar la dirección Profibus en el modulo usando los selectores ubicados encima de la conexión de alimentación. En la siguiente grafica se visualiza la configuración para la estación con dirección 3.

Figura 35: Asignar dirección a la ET200M.



Sistema de periferia descentralizada ET 200M, Instrucciones de servicio.

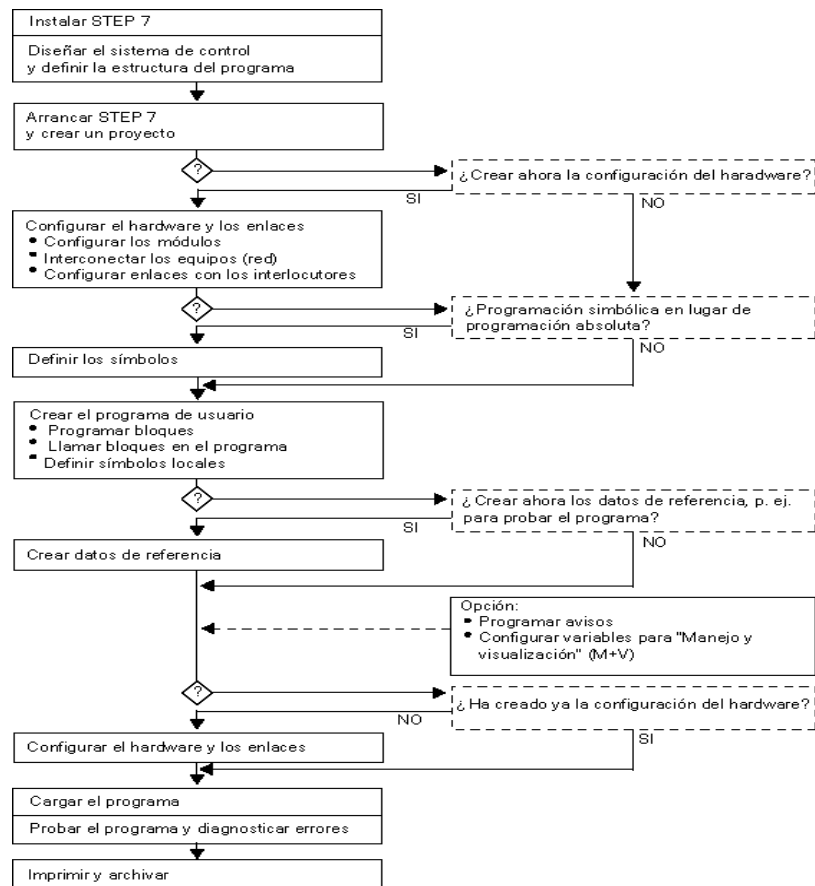
4.2.7 Configuración PLC y ET200M.

La siguiente figura muestra las tareas básicas que se deben realizar en la mayoría de los proyectos desarrollados con STEP 7.

Como ya se tiene definido el sistema de control se pasa a diseñar el programa y su estructura. Es muy importante conocer las herramientas con las que cuenta el PLC escogido y las que proporciona el STEP 7 para que el diseño sea lo mejor estructurado posible.

Al utilizar STEP 7 por primera vez, es preciso instalar el software y transferir las claves de licencia al disco duro del equipo de programación. Para la transferencia de estas claves es necesario tener instalado el software administrador de licencias que normalmente trae el instalador del STEP 7.

Figura 36. Diagrama de bloques configuración PLC.



SIMATIC Manager STEP 7 V5.5, Information system.

La creación de un nuevo proyecto es muy sencilla ya que es simplemente seguir los pasos del asistente para esta tarea, durante este proceso se especifica el equipo a utilizar, dirección del puerto de comunicación, lenguaje de programación y que bloques de organización y/o alarma se utilizaran en el programa. Un proyecto es una carpeta que contiene todos los datos estructurados jerárquicamente, estando disponibles en cualquier momento.

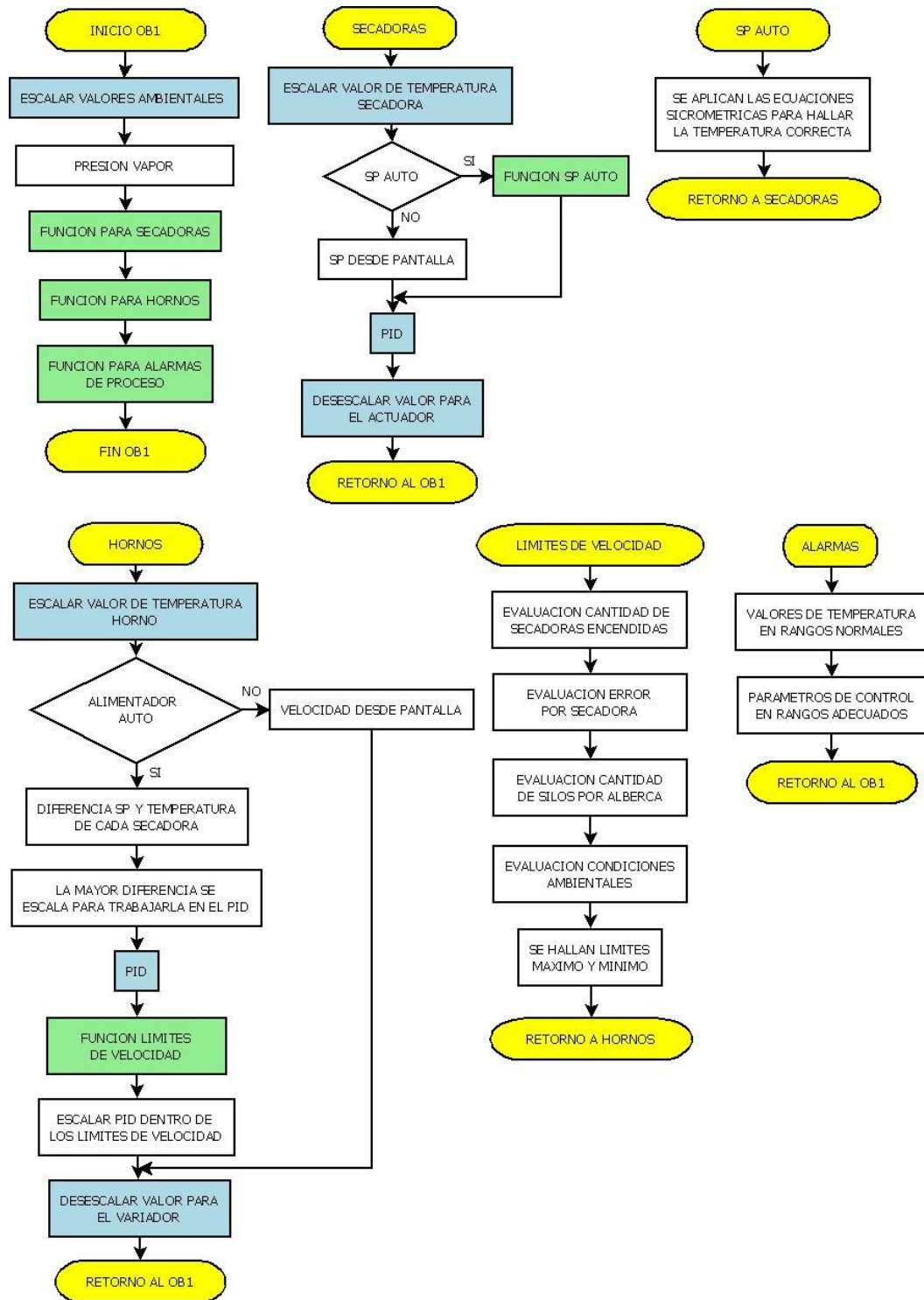
En la programación de PLCs es indispensable tener en cuenta en qué orden el sistema operativo del mismo realiza cada acción teniendo en cuenta que normalmente se realiza de manera cíclica. En este caso, tras realizar las funciones internas del sistema operativo, la imagen de proceso de las salidas se escribe en las salidas de los módulos y el estado de las entradas se lee en la imagen de proceso de las entradas. A continuación el programa de usuario ejecuta un proceso con todos los bloques llamados, comenzando por el bloque principal OB1, donde se puede manejar el código para llevar a cabo todo el proceso pero para sistemas complejos, repetitivos (no cíclico sino varias veces el mismo tipo de control para diferentes dispositivos) o simplemente por organización se pueden llamar otros bloques que pueden ser funciones preestablecidas por el sistema para realizar tareas específicas, funciones creadas por el usuario solo para el proyecto o de un proyecto distinto.

La escritura de la imagen de proceso de las salidas en las salidas de los módulos y la lectura de la imagen de proceso de las entradas las regula el sistema operativo de forma independiente.

Los datos que se visualizan y configuran a través de las HMI o el SCADA se toman de la misma manera que las entradas y salidas físicas, pero estas van directamente a un área de memoria determinada por el usuario o programador.

La siguiente figura describe la estructura del programa OB1 y las tareas que debe realizar.

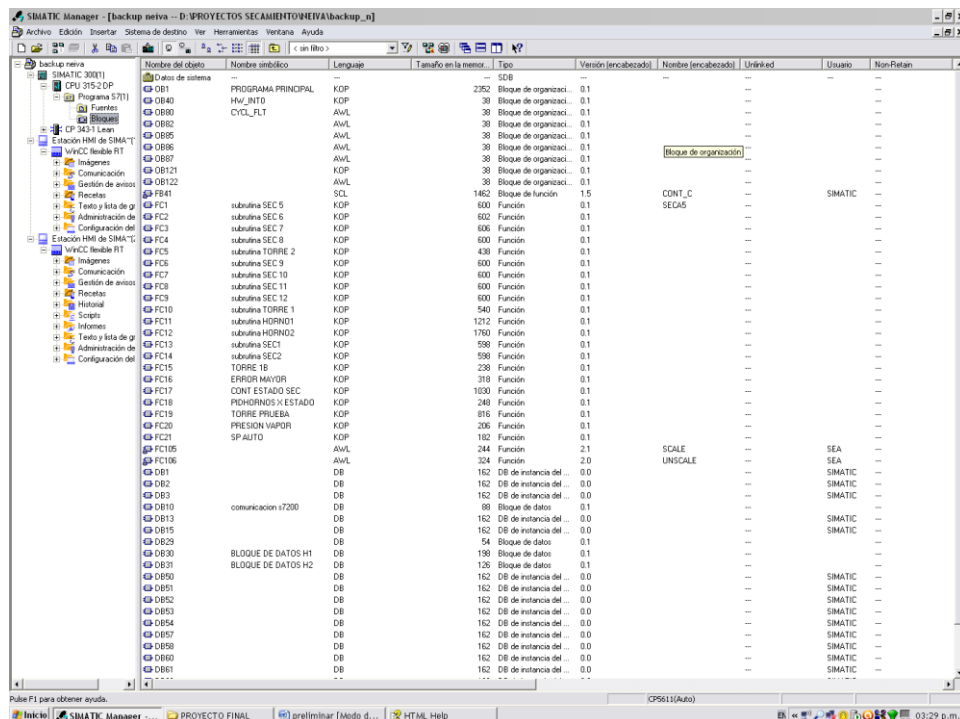
Figura 37. Diagrama de bloques del programa de usuario para el PLC.



Los bloques resaltados en amarillo son el comienzo y fin de cada función, los resaltados en verde son las funciones que se diseñaron especialmente para este sistema y los bloques azules son funciones preconfiguradas en el STEP 7. Los bloques sin resaltar son código dentro de la función para los que no es necesario crear una función aparte.

Insertar los equipos a utilizar en la carpeta del proyecto, en este caso el PLC Simatic S7-300 (cuadro de dialogo Insertar, equipo SIMATIC) y las dos HMI (cuadro de dialogo Insertar, equipo HMI). Solo se inserta la clase de equipo ya que la referencia exacta se configura y parametriza en el HW-config. Para que no surjan problemas al insertar las HMI es necesario ya tener instalado el Wincc Flexible.

Figura 38. Ventana de proyecto.



En este caso se cargan al sistema otros bloques de organización como el 82 (alarma de diagnostico), 85 (alarma de organización), 86 (alarma de ampliación rack), 87 (alarma de comunicación), 121(alarma de programación) y 122(alarma de periferia), con estos, al presentarse en el sistema la alarma específica de cada bloque, este será llamado inmediatamente y se llevaran a cabo las posibles

ordenes que se requieran y se cargan en sus registros los datos más relevantes. Si el sistema no tiene estos bloques de organización, al encontrar una falla pasara a detener el programa y todo el proceso, lo que nunca es conveniente.

Se abre el HW-config y se crea el bastidor principal. Todos los equipos se encuentran disponibles en la ventana de catalogo, clasificados primero por el tipo de sistema al que pertenecen y luego por función. En este caso el bastidor (que físicamente corresponde al riel en el van montados los equipos), el PLC, la fuente y los módulos de señales se encuentran en la carpeta SIMATIC 300 y los módulos de periferia descentralizada en la carpeta PROFIBUS-DP. El sistema demarcara las posiciones posibles en el bastidor cada vez que señale un equipo pero se debe recordar que la posición a escoger siempre debe coincidir con la que se tomo en el rack ya montado.

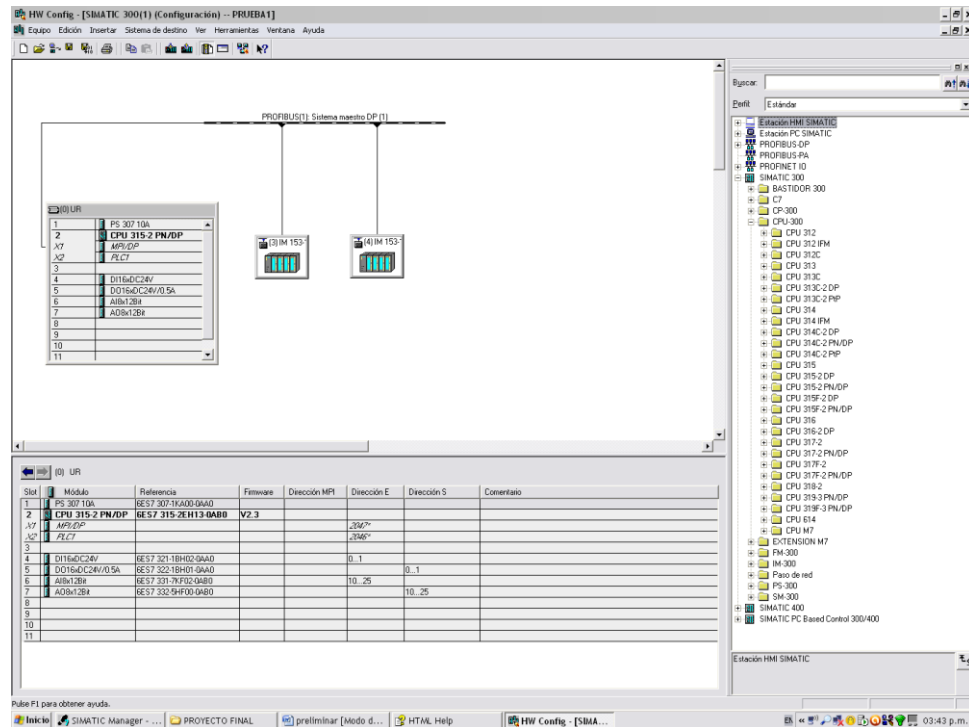
Para poder insertar los ET200M hay que crear primero la red Profibus, a través de la configuración de red en el PLC. Seleccionando la fila MPI/DP debajo de la CPU, se accede al cuadro de configuración, donde se configura los siguientes parámetros:

- Interface: Profibus
- Dirección: 2 (Las direcciones en cualquier clase de red nunca deben repetirse)
- Conectado: Si
- En propiedades de red, ajustes de red, velocidad de transferencia 1,5 Mbit/s y perfil tipo DP.
- Modo de operación: Maestro DP

De esta manera se despliega del puerto de la CPU la red a la que ya se pueden “colgar” los esclavos DP. Una vez colgado, se le asigna una dirección desde la ventana de propiedades de cada equipo. Esta dirección debe coincidir con la indicada en el modulo ya instalado en el rack.

Al igual que en el bastidor principal, se insertan los módulos de señales para cada estación en el mismo orden que en el rack.

Figura 39. Ventana de HW-Config.



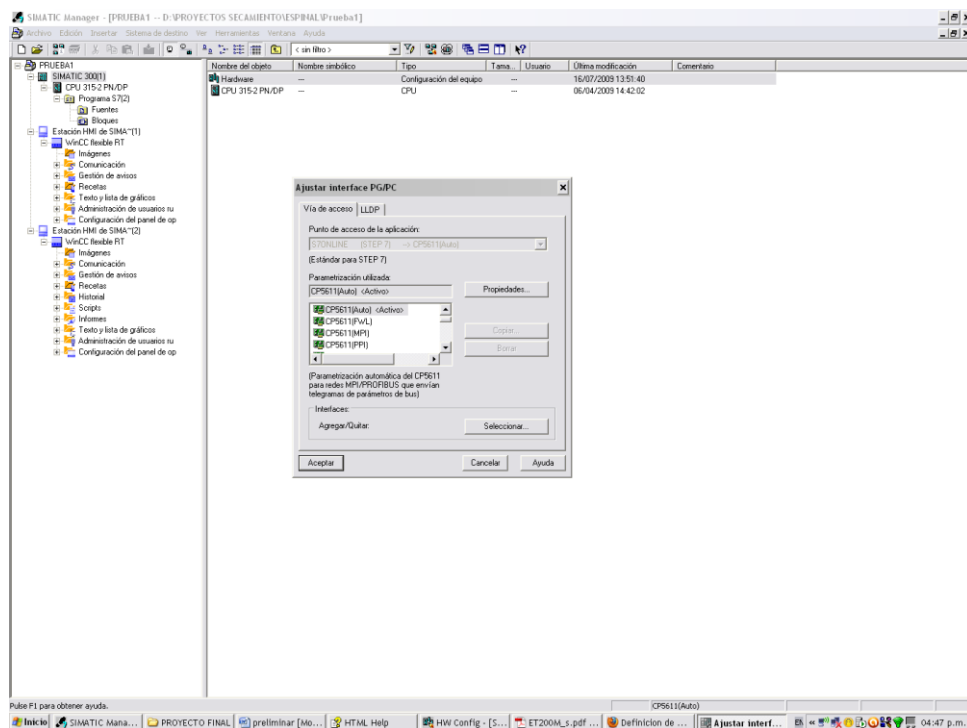
Paso siguiente se parametriza la CPU y los módulos de entrada y salida.

- Para la CPU en este caso tan solo corroborar que este marcada la casilla de arranque si difiere configuración real y teórica, el tiempo de vigilancia no sea muy corto, que llame al OB 85 en caso de error de periferia y que haya remanencia solo para marcas (los primeros 200 bytes).
- Para los módulos de entrada y salida digitales se toman las direcciones según posición en el rack de izquierda a derecha y luego según dirección de la estación Profibus.
- Para los módulos de entradas análogas, se activa la casilla de alarma de diagnostico, la medición se hace tipo TM2H (conexión 2 hilos), señal 4-20 mA, frecuencia perturbadora de 60 Hz. Para las entradas del equipo de medición de condiciones ambientales se toman entradas tipo V (voltaje) con señal de 0-10 V.
- Para los módulos de salidas análogas, se marcar la casilla de alarma de diagnostico, para los actuadores las salidas son tipo I (corriente), margen 4-20 mA,

reacción al stop en la CPU asignar salidas sin intensidad ni tensión. Para los variadores se toma salida tipo U (voltaje) con margen de 0-10 V.

Hay que guardar y compilar el trabajo, para luego transferirlo al PLC. Pero primero hay que revisar la configuración de la interface que usa el PC para la comunicación con el PLC. En este caso se usa un PC especial para la configuración de este tipo de sistemas , llamado PG o unidad de programación, este cuenta con la tarjeta CP 5611 para los protocolos Profibus, MPI y PPI, con esto se cubren la mayoría de equipos Siemens ya que son los tipos de red adoptados por la marca.

Figura 40. Interface PG/PC.



Se toma la configuración automática, ya que los PLCs de la serie 300 son compatibles con esta función, con esto no hay que preocuparse por definir direcciones, velocidades, interfaces, etc.

Asegurándose utilizar el cable correcto y que el PLC este encendido, una vez establecida la comunicación con el PLC se transfiere la configuración de

Se define la red Ethernet para comunicación entre PLC y WinCC, para ello se asigna a una red al PLC y se le asigna una dirección de este tipo. La dirección IP está formada por cuatro números decimales entre 0 y 255. Los números decimales están separados unos de otros por un punto.

La dirección IP se compone de:

- La dirección de la (sub)red
- La dirección de la estación (también denominada en general host o estación de red)

La máscara de subred separa estas dos direcciones. Determina qué parte de la dirección IP se dirige a la red y qué parte de la dirección IP se dirige a la estación. Los bits indicados para la máscara de subred determinan la parte de la red de la dirección IP.

Por ejemplo para una máscara de subred, 255.255.0.0 los dos primeros bytes de la dirección IP determinan la subred. Los dos últimos bytes se refieren a la estación.

En general:

- La dirección de red se obtiene de la combinación lógica AND de la dirección IP y la máscara de subred.
- La dirección de la estación se obtiene de la combinación lógica AND NOT de la dirección IP y la máscara de subred.

En este caso se toma una máscara 255.255.255.0 ya que la red tiene muy pocos equipos. Al PLC se le asigna la dirección 192.168.0.2 y al PC 192.168.0.1.

Una vez lista la configuración del hardware se puede comenzar a configurar el software. Antes de empezar es importante tener en cuenta que en lugar de utilizar direcciones absolutas es posible definir símbolos locales o globales en una tabla de símbolos, empleando nombres autoexplicativos que se utilizarán luego en el programa.

Figura 42. Tabla de símbolos.

Nº	Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
1		ALARMAVERDE1	A. 0.0	BOOL	Sistema OK estación 2
2		ALARMAAMARILLO1	A. 0.1	BOOL	Alarma de diagnóstico estación 2
3		ALARMAROJO1	A. 0.2	BOOL	Alarma de sistema estación 2
4		TORRE1A STOP TUR.	A. 0.3	BOOL	Stop de la turbina TORRE1A desde pantalla
5		TORRE1B STOP TUR.	A. 0.4	BOOL	Stop de la turbina TORRE1B desde pantalla
6		TORRE2 STOP TURB.	A. 0.5	BOOL	Stop de la turbina TORRE2 desde pantalla
7		ALARMAVERDE2	A. 2.0	BOOL	Sistema OK estación 3
8		ALARMAAMARILLO2	A. 2.1	BOOL	Alarma de diagnóstico estación 3
9		ALARMAROJO2	A. 2.2	BOOL	Alarma de sistema estación 3
10		START VF H1	A. 2.3	BOOL	ON/OFF VARIAD H1 Encendido y apagado del variador de pantalla
11		H1 STOP TURBINA	A. 2.4	BOOL	Stop de la turbina del H1 desde pantalla
12		SEC 1 STOP TURBINA	A. 2.5	BOOL	Stop de la turbina SEC1 desde pantalla
13		SEC 4 STOP TURBINA	A. 2.6	BOOL	Stop de la turbina SEC4 desde pantalla
14		SEC 5 STOP TURBINA	A. 2.7	BOOL	Stop de la turbina SEC5 desde pantalla
15		SEC 6 STOP TURBINA	A. 3.0	BOOL	Stop de la turbina SEC6 desde pantalla
16		SEC 9 STOP TURBINA	A. 3.1	BOOL	Stop de la turbina SEC9 desde pantalla
17		SEC 12 STOP TURBINA	A. 3.2	BOOL	Stop de la turbina SEC12 desde pantalla
18		START VF H3	A. 3.3	BOOL	ON/OFF VARIAD H3 Encendido y apagado del variador de pantalla
19		H3 STOP TURBINA	A. 3.4	BOOL	Stop de la turbina del H3 desde pantalla
20		ALARMAVERDE3	A. 4.0	BOOL	Sistema OK estación 4
21		ALARMAAMARILLO3	A. 4.1	BOOL	Alarma de diagnóstico estación 4
22		ALARMAROJO3	A. 4.2	BOOL	Alarma de sistema estación 4
23		START VF H2	A. 4.3	BOOL	ON/OFF VARIAD H2 Encendido y apagado del variador de pantalla
24		H2 STOP TURBINA	A. 4.4	BOOL	Stop de la turbina del H2 desde pantalla
25		SEC 3 STOP TURBINA	A. 4.5	BOOL	Stop de la turbina SEC3 desde pantalla
26		SEC 7 STOP TURBINA	A. 4.6	BOOL	Stop de la turbina SEC7 desde pantalla
27		SEC 8 STOP TURBINA	A. 4.7	BOOL	Stop de la turbina SEC8 desde pantalla
28		SEC 10 STOP TURBINA	A. 5.0	BOOL	Stop de la turbina SEC10 desde pantalla
29		SEC 11 STOP TURBINA	A. 5.1	BOOL	Stop de la turbina SEC11 desde pantalla
30		SEC 11 STOP TURBINA	A. 5.2	BOOL	Stop de la turbina SEC11 desde pantalla
31		PD SEC1	DB 16	FB 41	
32		PD SEC2	DB 17	FB 41	
33		PD SEC3	DB 18	FB 41	
34		PD SEC4	DB 19	FB 41	
35		PD SEC5	DB 20	FB 41	
36		PD SEC6	DB 21	FB 41	
37		PD SEC7	DB 22	FB 41	
38		PD SEC8	DB 23	FB 41	
39		PD SEC9	DB 24	FB 41	
40		PD SEC10	DB 25	FB 41	
41		PD SEC11	DB 26	FB 41	
42		PD SEC12	DB 27	FB 41	
43		PD TORRE1A	DB 29	FB 41	
44		PD TORRE1B	DB 32	FB 41	
45		PD TORRE2	DB 33	FB 41	
46		PD HORNO1	DB 34	FB 41	
47		PD HORNO2	DB 35	FB 41	
48		TORRE1A TURBINA1	E. 0.0	BOOL	TURBINA TORRE 1A
49		TORRE1B TURBINA1	E. 0.1	BOOL	TURBINA TORRE 1B
50		TORRE2 TURBINA1	E. 0.2	BOOL	TURBINA TORRE 2
51		TORRE1A TURBINA2	E. 0.3	BOOL	
52		TORRE1B TURBINA2	E. 0.4	BOOL	
53		SEC 1 TURBINA	E. 2.0	BOOL	TURBINA SECADORA 1
54		SEC 4 TURBINA	E. 2.1	BOOL	TURBINA SECADORA 4
55		SEC 5 TURBINA	E. 2.2	BOOL	TURBINA SECADORA 5
56		SEC 6 TURBINA	E. 2.3	BOOL	TURBINA SECADORA 6
57		SEC 9 TURBINA	E. 2.4	BOOL	TURBINA SECADORA 9

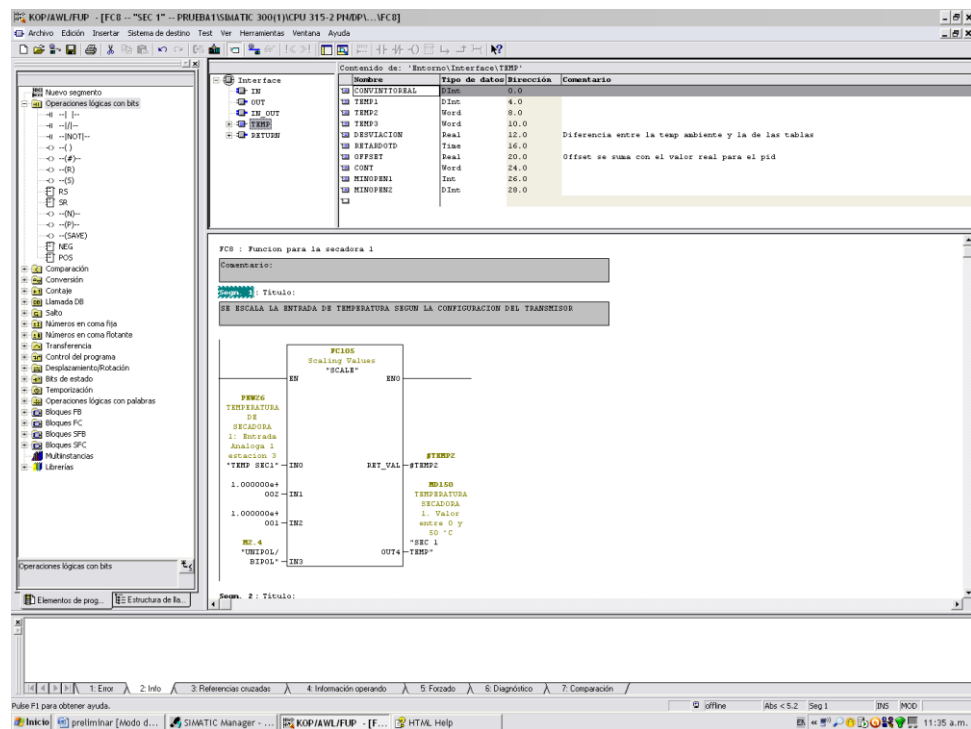
El programa se crea utilizando uno de los lenguajes de programación disponibles. El lenguaje utilizado fue el KOP o ladder ya que es el estándar en todos los PLCs de cualquier marca, no necesita del estudio de códigos especiales para cada instrucción y es mucho más sencillo analizarlo para hacer cambios o para probarlo en línea a diferencia AWL o listas, aunque este último es recomendable si ya se tiene una muy buena familiarización con la marca porque es más estructurado, optimizando el tiempo de ejecución y utilización de la memoria del PLC, que muchas veces puede llegar a ser insuficiente.

La representación del lenguaje de programación gráfico KOP (esquema de contactos) es similar a la de los esquemas de circuitos. Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, se agrupan en segmentos. Uno o varios segmentos constituyen el área de instrucciones de un bloque lógico.

Del tipo de datos a usar depende la instrucción que debe ir en el programa, por ello es importante saber diferenciarlos y conocer su aplicación.

Todas las instrucciones disponibles, funciones preestablecidas y creadas para el sistema se encuentran en la ventana de Vista general, con el sistema de arrastrar y soltar se ubican en el orden requerido en cada uno de los segmentos del programa. Cada bloque contiene un espacio de memoria para declarar variables locales.

Figura 43. Herramienta para la edición del programa.



Los datos de referencia se pueden utilizar para poder comprobar y modificar más fácilmente el programa de usuario.

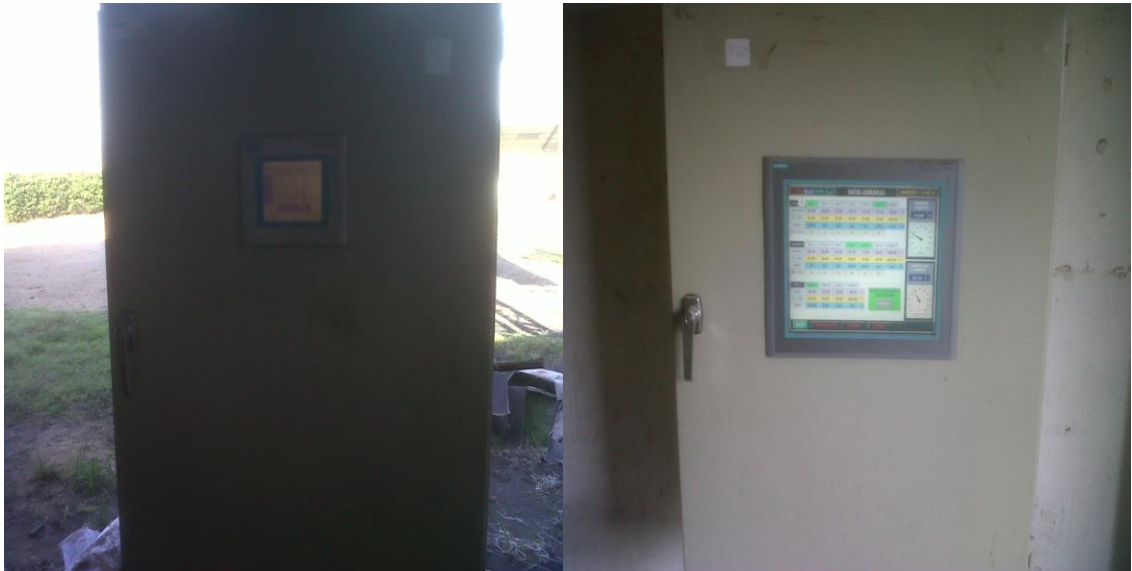
Tras concluir la configuración, la parametrización y la creación del programa, es posible cargar el programa de usuario completo o cualquiera de sus bloques en el sistema de destino. Lo recomendable es que cada vez que se terminen las instrucciones para determinada función o parte del proyecto, guardar y cargar al PLC, para comprobar funcionamiento y corregir posibles errores.

Para probar el programa se pueden visualizar los valores de las variables y asignarles valores a las mismas a través una tabla o directamente en el código.

4.2.8 Instalación y configuración HMI.

Los paneles se instalan en la puerta del rack, sujetos por acopladores que trae el equipo de fábrica. Se alimentan con 24 VDC y se conecta el cable de red Profibus en el puerto IFB 1. Al conectar la alimentación el panel enciende inmediatamente y una vez arranca el sistema operativo se puede acceder al panel de control, donde es necesario configurar el puerto. Se toman los mismos parámetros que en el software, con el tipo de comunicación Profibus, velocidad 1.5 Mbit/s y la dirección para cada panel, 10 para el MP370 que es el panel principal y 11 para MP177 de la estación remota.

Figura 44. Paneles de operador instalados.



Una vez instalado el Wincc Flexible en el PC de programación y hecho el trabajo en el Step 7, desde el mismo se da inicio al editor de los paneles buscando el indicado en la ventana de proyecto. En este punto se tiene una gran ventaja ya que al trabajar el sistema con equipos de la misma marca y como se han incluido en el mismo proyecto en el Simatic Manager entonces el trabajo para la red, configuración, enlaces y la tabla de símbolos de las variables del controlador no hay que volver a realizarlo ya que estará disponible y activado por defecto en la configuración de los paneles de operador o HMI.

Al igual que en el Step 7 primero hay que familiarizarse con el software, conocer sus herramientas y aplicaciones, con esto se asegura tener un sistema bien estructurado y que cumpla con las expectativas del proyecto.

Figura 45. Interfaz del Wincc Flexible.



La interfaz de trabajo se divide principalmente en:

- Los menús y barras de herramientas se accede a todas las funciones disponibles en WinCC. Si coloca el puntero del ratón sobre una función, obtendrá una breve explicación sobre la misma.
- El área de trabajo se editan los objetos del proyecto. Todos los elementos de WinCC flexible se agrupan entorno al área de trabajo.
- La ventana de proyecto todos los componentes y editores disponibles de un proyecto se visualizan en forma de árbol y se pueden abrir desde ella. Como subelementos de cada editor, se pueden observar carpetas que permiten almacenar los objetos de forma estructurada. Además, en el caso de las imágenes, recetas, scripts, informes y diccionarios de usuario se puede acceder directamente a los objetos configurados. Desde la ventana de proyecto se puede acceder a los ajustes del panel de operador, al soporte de idiomas y a la administración de versiones.

- La ventana de propiedades se editan los parámetros, animaciones y eventos relacionados a cada uno de los objetos ubicados en el área de trabajo para las imágenes.

- La ventana de herramientas contiene una selección de objetos que se pueden insertar en las imágenes, como por ejemplo, los objetos gráficos o los elementos de mando. Asimismo, la ventana de herramientas dispone de librerías con objetos ya preparados, así como de colecciones de faceplates.

- La librería forma parte de la ventana de herramientas. En la librería se accede a los objetos de imagen configurados con anterioridad. Los objetos de librería amplían la cantidad de objetos de imagen disponibles y aumentan la efectividad de la configuración gracias a la posibilidad de reutilizar objetos ya disponibles. En una librería se almacenan de forma centralizada los objetos que se necesitan con frecuencia, por ejemplo los objetos de imagen y las variables.

- La ventana de resultados muestra avisos del sistema generados, por ejemplo, al compilar un proyecto.

- La ventana de objetos muestra los elementos del área que se ha seleccionado en la ventana de proyecto.

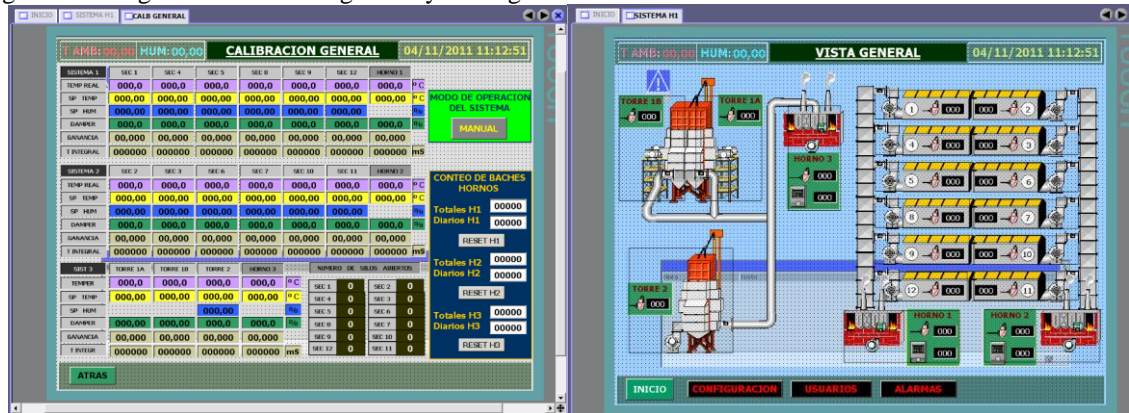
Se debe comenzar ya teniendo un diseño en borrador para la interfaz grafica teniendo muy claro cuántas imágenes se necesitan, como se navega o accede a cada una de ellas, que información deben llevar, como se va a representar, a que datos se puede acceder solo para observar y/o cambiar y que alarmas se deben visualizar, esto solo para este proyecto ya que las otras herramientas disponibles no son necesarias.

Para resumir los trabajos hechos se hace un recuento de la configuración final para cada una de las subcarpetas que dividen el proyecto.

La subcarpeta imágenes es la que más trabajo tiene ya que es en la que se desarrolla toda la parte grafica. El trabajo consiste en insertar objetos en las plantillas y mediante la ventana de propiedades asignar su configuración general (variable o imagen de enlace, formato, ciclo de actualización, etc), propiedades (apariencia, representación, texto, seguridad, etc), animaciones (en la apariencia, en su posición o tamaño, al activarse, etc) y los eventos accionados al pulsar o activar (procesamiento de bits en el PLC, navegación, funciones de sistema, etc).

Los objetos más usados son los botones, interruptores, textos, campos de entrada/salida y el visualizador de curvas. Los objetos estáticos que simplemente realizan animaciones en respuesta a cambios en el sistema son imágenes diseñadas para este proyecto.

Figura 46. Imagen de calibración general y Vista general.

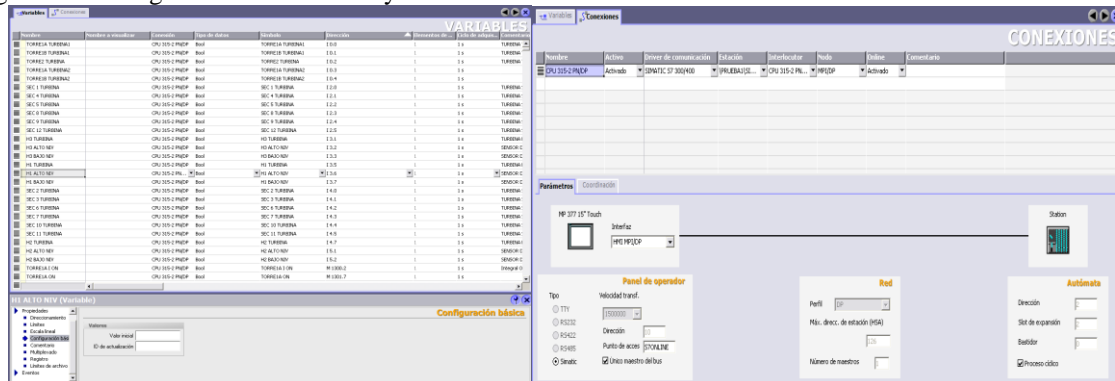


En total para el panel principal se diseñaron 30 imágenes, mientras que para el panel remoto solo 8. Esto teniendo en cuenta la necesidad ya planteada en el diseño del proyecto y la capacidad de cada HMI.

En la subcarpeta de comunicación, están todas las variables del sistema de automatización con sus propiedades. Se confirma el estado y configuración del enlace creado en el Step 7.

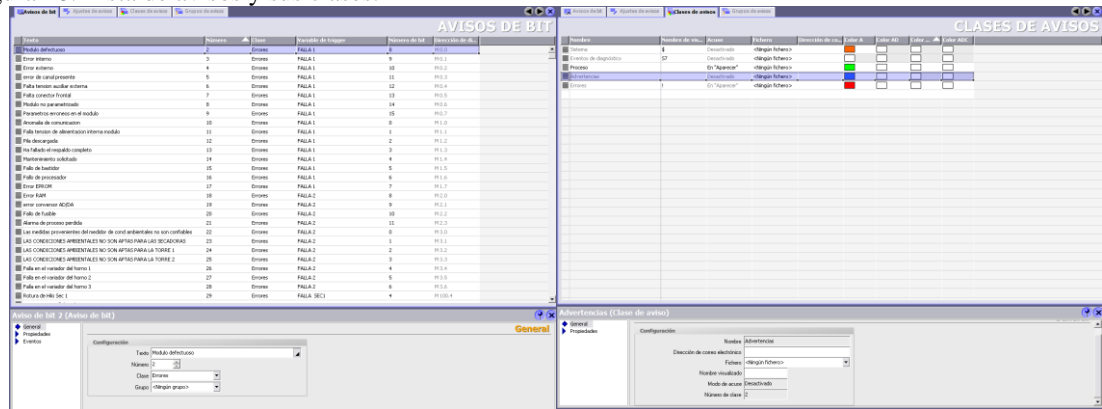
A las variables se le pueden asignar nuevos parámetros como limites para validar la entrada de datos, ciclo de adquisición (cíclico o por eventos) o métodos para escalar los valores.

Figura 47. Configuración de variables y conexiones.



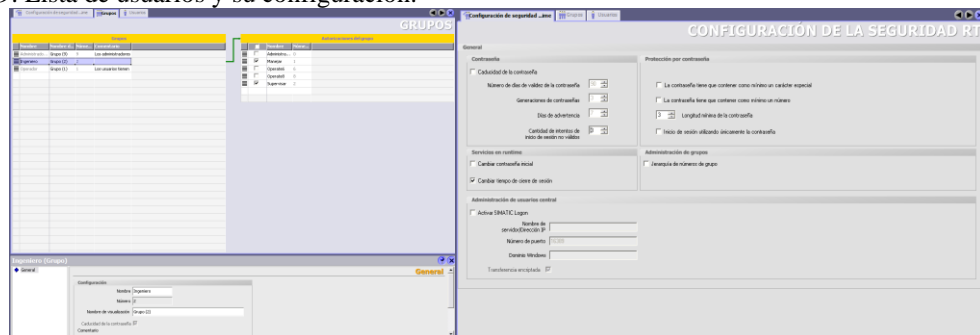
En la subcarpeta de gestión de avisos se configuraron todas las alarmas, en este caso solo activadas por bits del PLC. Primero se define en que grupo de avisos se trabajara y en que clases se dividirán, por ejemplo tipo sistema, errores de proceso, alarmas de diagnostico, etc. Ya hay unas preconfiguradas pero se pueden crear según la necesidad. Si el aviso debe ser acusado, el evento que se puede disparar al aparecer, el color en la vista de alarmas según su estado y por último el símbolo y la dirección del bit de disparo del aviso también es necesario indicarlo. En total se configuraron 20 alarmas de sistema, 7 advertencias y 40 alarmas de proceso.

Figura 48. Lista de avisos y sus clases.



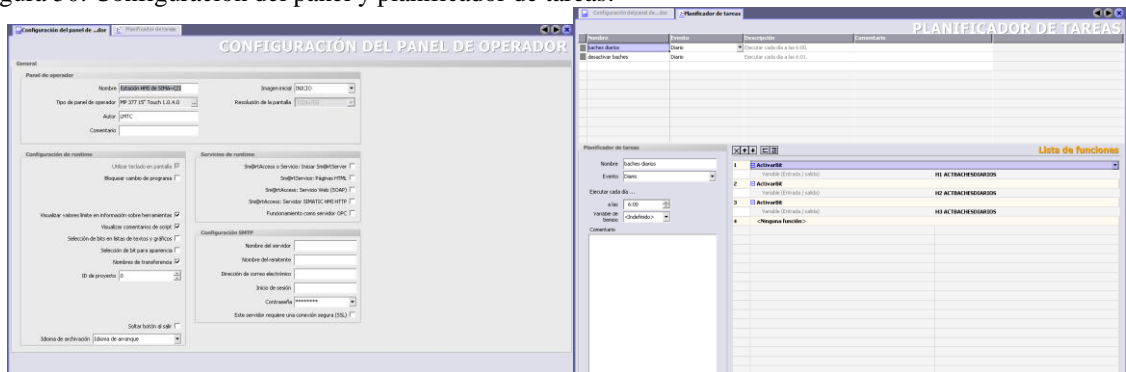
En la subcarpeta de usuarios se define el nombre, la contraseña y el nivel de acceso para cada uno. Esto con el fin de proteger datos como los parámetros de los PID, los set points o el tipo de control manual/automático, donde según la función en el proceso de cada usuario, este tendrá acceso solo a determinada información. En este caso se dividen en tres usuarios con diferentes clases de acceso, administrador, ingeniero y operador.

Figura 49. Lista de usuarios y su configuración.



En la subcarpeta configuración del panel de operador se define la identificación de la HMI, datos de referencia del proyecto y la imagen inicial para el runtime (así se le llama al programa cargado cuando se corre en el panel). Usando el planificador de tareas en el panel principal se define una acción diaria para almacenar el número de batches de consumo (cuantas veces se llenó y desocupó la tolva de cascarilla en los hornos).

Figura 50. Configuración del panel y planificador de tareas.



Una vez terminado el proyecto se guarda, se genera el código y se transfiere al equipo. Antes de realizar la transferencia hay que corroborar si el panel esta encendido, el cable de conexión es correcto y la configuración de transferencia en el panel y en la interface PG/PC coinciden.

En caso de haber problemas puede que sea necesario actualizar el sistema operativo del panel, con la opción del mismo nombre en la configuración de transferencia.

4.2.9 Instalación y configuración SCADA. El software se instala en el PC destinado para la supervisión del proceso, conectados a través de una red Ethernet. La configuración es similar a la de las pantallas, simplemente las posibilidades de edición en cada una de las aplicaciones son mayores en el Wincc SCADA, pero su objetivo es el mismo. Como se explicó en el diseño del proyecto, el sistema de supervisión se centra más en el almacenamiento de históricos para su posterior análisis.

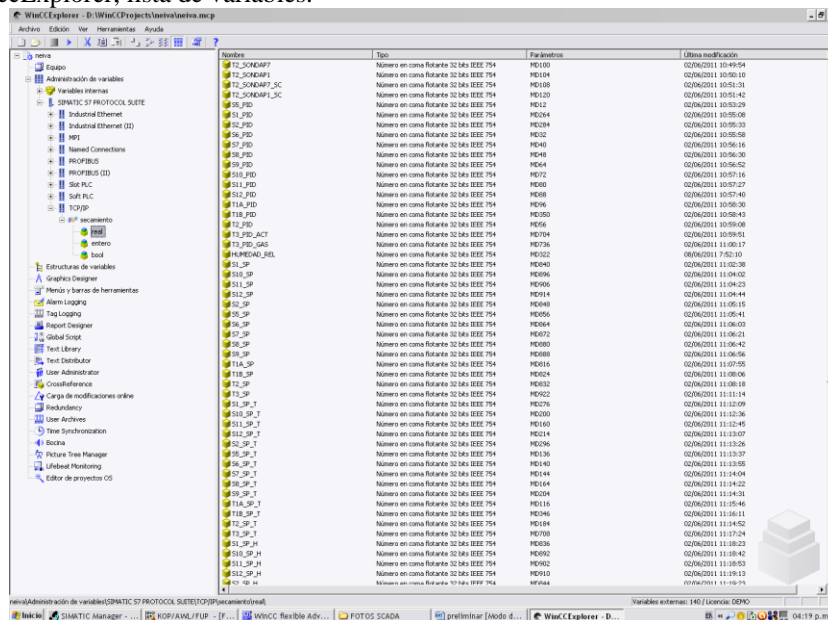
Se crea un nuevo proyecto para estación monopuesto y se le da un nombre. Luego en la herramienta equipo se le da un nombre al servidor (el mismo del equipo en el que se trabaja), se definen que herramientas se van a utilizar para que al correr el programa se inicialicen, para este proyecto se utilizan el alarm

logging, tag logging, graphics runtime y user archive. No se utilizan scripts ya que toda la lógica del proceso la realiza el PLC y las graficas para describirlo no son complejas. Luego se definen propiedades como la configuración del idioma, la coordinación de la fecha y la hora, la imagen inicial, configuración inicial de los menús y las barras de herramientas, desactivar o activar teclas para accesos directos y/o bloqueos y los atributos para la ventana del proyecto una vez entre en modo runtime.

En la herramienta administración de variables se agrega el driver específico para la comunicación con el PLC del proyecto en este caso el que se utiliza para controladores de la gama S7 de Siemens (simatic protocol suite). A continuación se despliegan todos los protocolos existentes para esta gama, en este caso se trabaja en el TCP/IP, se agrega una nueva conexión y en sus propiedades se le asigna un nombre al puerto de comunicación Ethernet del PLC (el mismo que tenga en la configuración de hardware) y su dirección IP en 192.168.0.2, numero del bastidor 0 y numero de slot 2.

En la ventana de parámetros del sistema TCP/IP se debe definir si el sistema se rige por los ciclos del PLC y cuanto demora la búsqueda del mismo en caso de perderse la conexión. Hay que definir la unidad o nombre lógico del dispositivo que el PC usa como puerto para la comunicación, este debe coincidir con el que se defina en la configuración PG/PC de este mismo servidor.

Figura 51. WinccExplorer, lista de variables.



Hecho esto ya se dispone el sistema para la creación de los símbolos, las direcciones y las propiedades para cada variable. Para esto se importa la tabla hecha en el Step 7.

Luego de crear las variables se pueden crear los ficheros para el almacenamiento de datos mediante la herramienta Tag logging. Se crea un fichero para cada horno, se crean los archivos y se enlazan a la respectiva variable. Se asignan las propiedades del archivo, definiendo el origen de las variables, ciclos de adquisición de 30 a 60 segundos, archivado cíclico del valor promedio para las variables análogas en intervalos entre 5 y 10 minutos dependiendo de la importancia y archivado acíclico activado por cambio en el valor de la variable para las digitales.

Con la herramienta Graphics designer, al igual que en las pantallas se organiza la parte grafica del proyecto. Se crean las imágenes necesarias y se enlazan en este caso a través del menú creado para el proyecto, donde aplicando un script predefinido y el nombre de la imagen se obtiene un acceso directo. La distribución se realiza de acuerdo a la función y lugar en el proceso.

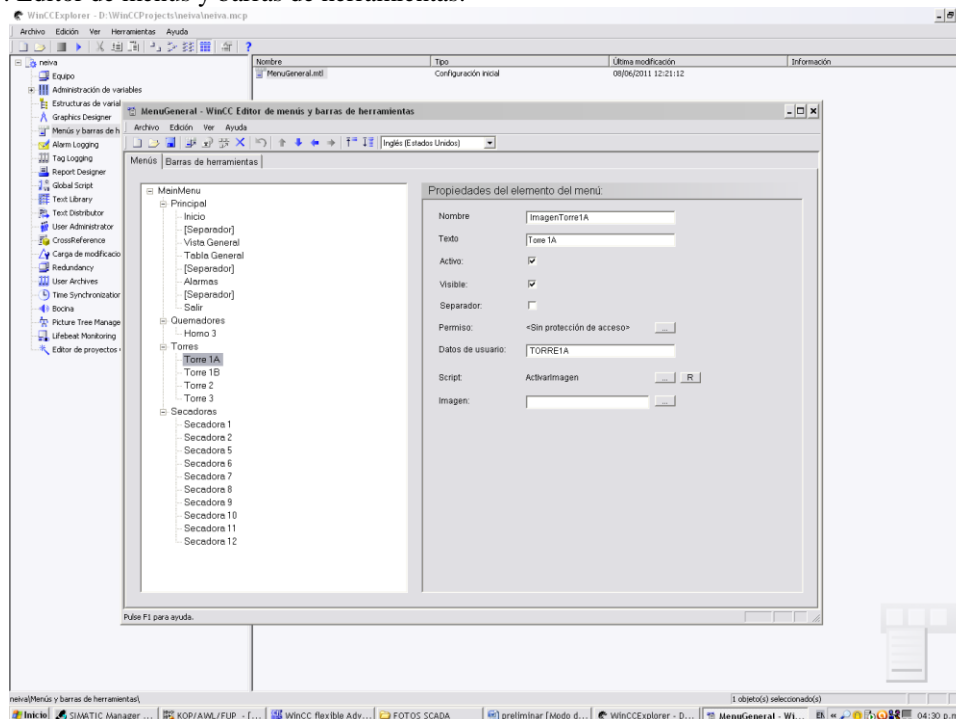
Figura 52. Administrador de ficheros para almacenamiento de datos.

The screenshot shows the 'Tag Logging - [neiva]' application interface. It features a menu bar (Archivo, Edición, Ver, Ayuda) and a toolbar. The main window is divided into two panes. The left pane shows a tree view with folders like 'neiva.mcp', 'Temporizadores', and 'Configuración del fichero'. The right pane displays a table of file configurations.

Nombre de variable	Variable de proceso	Tipo de variable	Comentario	Última modificación	Tipo de adquisición	Origen de variables	Archivar	Además en variable	Ciclo de adquisición	Factor para ciclo de	Ciclo de fichero/visualizar	Archivar	Título
H1_TEMP	H1_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:07:40:continuo por ciclos	2011-06-08 08:07:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	5	1 minuto		Valor
H1_VARIADOR	H1_VELFINAL	Análogo	2011-06-08 08:11:02:continuo por ciclos	2011-06-08 08:11:02	Sistema	Autorizado			30 seconds	5	1 minuto		Valor
S10_PID	S10_PID	Análogo	2011-06-08 08:37:10:continuo por ciclos	2011-06-08 08:37:10	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S10_SP	S10_SP	Análogo	2011-06-08 08:38:10:continuo por ciclos	2011-06-08 08:38:10	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S10_TEMP	S10_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:39:30:continuo por ciclos	2011-06-08 08:39:30	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S10_TURBINA	S10_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:36:40:al cambiar	2011-06-08 08:36:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor
S11_PID	S11_PID	Análogo	2011-06-08 08:40:00:continuo por ciclos	2011-06-08 08:40:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S11_SP	S11_SP	Análogo	2011-06-08 08:40:20:continuo por ciclos	2011-06-08 08:40:20	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S11_TEMP	S11_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:40:30:continuo por ciclos	2011-06-08 08:40:30	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S11_TURBINA	S11_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:36:20:al cambiar	2011-06-08 08:36:20	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor
S12_PID	S12_PID	Análogo	2011-06-08 08:41:10:continuo por ciclos	2011-06-08 08:41:10	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S12_SP	S12_SP	Análogo	2011-06-08 08:41:30:continuo por ciclos	2011-06-08 08:41:30	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S12_TEMP	S12_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:42:00:continuo por ciclos	2011-06-08 08:42:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S12_TURBINA	S12_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:36:40:al cambiar	2011-06-08 08:36:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor
S9_PID	S9_PID	Análogo	2011-06-08 08:34:00:continuo por ciclos	2011-06-08 08:34:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S9_SP	S9_SP	Análogo	2011-06-08 08:35:30:continuo por ciclos	2011-06-08 08:35:30	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S9_TEMP	S9_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:35:30:continuo por ciclos	2011-06-08 08:35:30	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
S9_TURBINA	S9_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:32:00:al cambiar	2011-06-08 08:32:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor
T1A_PID	T1A_PID	Análogo	2011-06-08 08:18:00:continuo por ciclos	2011-06-08 08:18:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1A_SP	T1A_SP	Análogo	2011-06-08 08:19:20:continuo por ciclos	2011-06-08 08:19:20	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1A_TEMP	T1A_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:16:20:continuo por ciclos	2011-06-08 08:16:20	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1A_TURBINA	T1A_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:26:40:al cambiar	2011-06-08 08:26:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor
T1B_PID	T1B_PID	Análogo	2011-06-08 08:21:20:continuo por ciclos	2011-06-08 08:21:20	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1B_SP	T1B_SP	Análogo	2011-06-08 08:16:40:continuo por ciclos	2011-06-08 08:16:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1B_TEMP	T1B_TEMP	Análogo	2011-06-08 08:17:00:continuo por ciclos	2011-06-08 08:17:00	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto		Valor
T1B_TURBINA	T1B_TURBINA	Binario	2011-06-08 08:30:40:al cambiar	2011-06-08 08:30:40	Sistema	Autorizado			30 seconds	3	1 minuto	a cada cambio de est	Valor

The bottom of the window shows the taskbar with various applications open, including 'SIMATIC Manager', 'PROYECTO FINAL', 'preliminar [Modo d...', 'WinCCExplorer - O...', and 'Tag Logging - [neiva]'. The system clock shows '08:47 a.m.'.

Figura 53. Editor de menús y barras de herramientas.



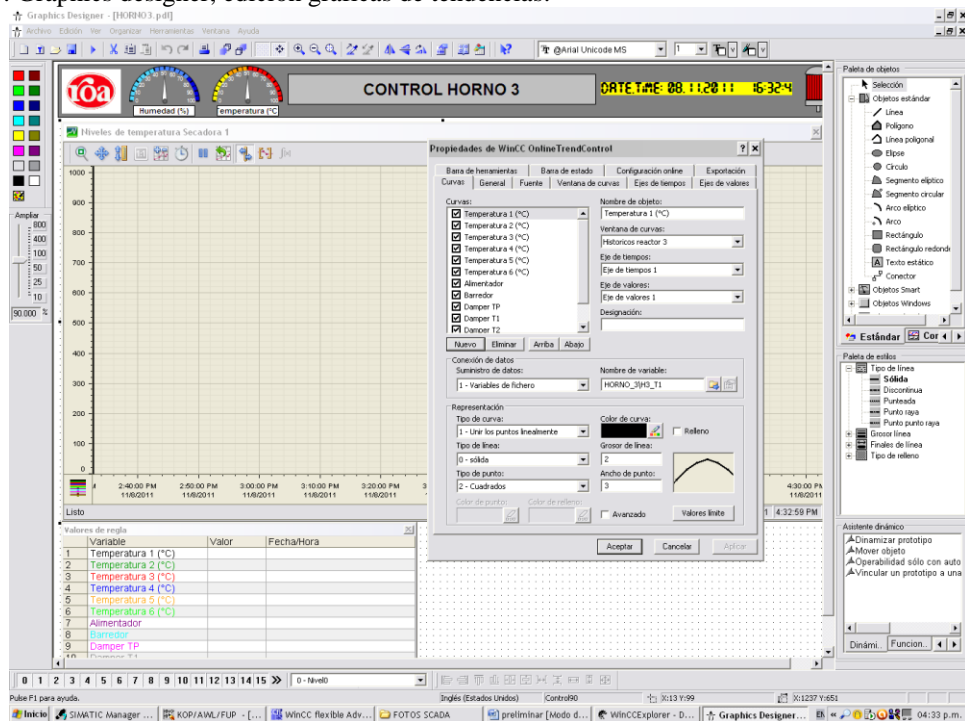
Como en este caso lo importante es observar en el tiempo el comportamiento del proceso, se hace especial atención a la herramienta del graphics designer ubicada en su paleta de objetos, controles active x, Wincc online trend control. Esta se usa para graficar las curvas de tendencias según las propiedades y parámetros que se requieran.

Por ejemplo en una secadora es indispensable poder comparar fácilmente los valores de temperatura del aire secante, set point, apertura del dámper, temperatura y humedad ambiente con el fin de evaluar el funcionamiento del sistema y el rendimiento en el secado. Lo normal es que la curva de temperatura de la secadora sea muy parecida a la del set point de lo contrario se puede llegar a la conclusión que la válvula está funcionando mal eléctrica o mecánicamente, el horno no está produciendo lo suficiente o los parámetros del sistema no están bien definidos. Esta es una forma sencilla de calibrar los PID ya que se pueden observar los tiempos de respuesta al arrancar o debidos cambios en el sistema, además se visualizan los picos de temperatura y la atenuación de la señal.

Una vez puesta la aplicación de visualización de tendencias en la plantilla, en la ventana de propiedades se definen la cantidad de curvas, si son graficas en tiempo real (curvas a corto plazo) o provenientes de un fichero (curvas a largo

plazo), la representación de la curva en color y tipo de línea, las propiedades de la ventana como el título, el estilo y la representación de los valores. También hay que definir el rango para el eje de valores y el de tiempo. Como se pueden definir los iconos de configuración de la barra de herramientas en runtime es posible cambiar todo en cualquier momento, obviamente esto hasta un punto es bueno dependiendo de la destreza del operario por eso tan solo se habilitan las propiedades de la vista de curvas y su tiempo de visualización. Para facilitar los análisis se puede utilizar la herramienta para el cálculo de estadísticas por intervalo de tiempo.

Figura 54. Graphics designer, edición graficas de tendencias.



En este punto y aprovechando una de las herramientas de esta aplicación se toma la decisión de utilizar esta vía para generar los reportes. Aunque el Wincc tiene la aplicación Report designer donde se crean los reportes que contengan los datos necesarios, generarlos por activación de la función o en tiempos predefinidos y se pueden visualizar de una manera personalizada siendo muy llamativo estos quedan en un formato en el que no es posible reorganizarlos o trabajar con ellos, mientras que la herramienta exportar datos del visualizador de curvas crea un archivo con extensión .csv que puede ser abierto mediante el Excel y de allí en

adelante simplemente aprovechar todas sus funciones, además de poder comparar los datos del sistema con los tomados manualmente para el mismo proceso o para procesos paralelos, facilitando el análisis del trabajo hecho. En este caso como la única persona que manipulara el PC de supervisión es el jefe de planta se puede trabajar de esta manera.

Al igual que en las pantallas también se configura el sistema de alarmas o avisos. Su configuración es muy similar, con la ventaja de nuevo de poder disponer de archivos, de tener más propiedades para adecuar y de mas herramientas para trabajar.

Figura 55. Alarm logging.

The screenshot shows the 'Alarm Logging' application window. The interface includes a menu bar (Archivo, Edición, Ver, Avisos, Herramientas, Ayuda), a toolbar with icons for Fecha, Hora, Duración, Estado, Estado de acuse, Numero, Clase, Tipo, and Archivo, and a tree view on the left with categories like Bloques de aviso, Bloques de tentos de usuario, Bloques de valores de proceso, Clase de aviso, Error, System, requires acknowledgment, System, without acknowledgment, Injeneria del valor límite, Avisos de grupos, Configuración del fichero, and Fichero de errores.

The main area displays a table of logged events. The table has the following columns: Numero, Clase, Tipo, Prioridad, Variable de aviso, Bit de aviso, Variable de estado, Bit de estado, Mensaje, Punto de error, and Revision. The data shows a sequence of 'FALLA' (Failure) events from number 1 to 44, followed by 'ALARMA' (Alarm) events from number 29 to 44. The 'FALLA' events are primarily related to 'Temperatura baja' (Low temperature) and 'Temperatura alta' (High temperature) at various towers and dryers. The 'ALARMA' events are related to 'Falla quemador o falla reactor' (Burner or reactor failure) at different towers and dryers.

Numero	Clase	Tipo	Prioridad	Variable de aviso	Bit de aviso	Variable de estado	Bit de estado	Mensaje	Punto de error	Revision
1	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura baja	TORRE 1A	Desconexion cable termocupla -
2	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura baja	TORRE 2A	Desconexion cable termocupla -
3	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura baja	TORRE 3A	Desconexion cable termocupla -
4	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura baja	TORRE 4A	Desconexion cable termocupla -
5	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	SECADORA 1	Desconexion cable termocupla -
6	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	SECADORA 2	Desconexion cable termocupla -
7	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	SECADORA 3	Desconexion cable termocupla -
8	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	SECADORA 4	Desconexion cable termocupla -
9	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura baja	SECADORA 5	Desconexion cable termocupla -
10	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	TORRE 1B	Desconexion cable termocupla -
11	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	TORRE 2B	Desconexion cable termocupla -
12	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	TORRE 3B	Desconexion cable termocupla -
13	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	TORRE 4B	Desconexion cable termocupla -
14	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura alta	SECADORA 1	Desconexion cable termocupla -
15	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura alta	SECADORA 2	Desconexion cable termocupla -
16	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura alta	SECADORA 4	Desconexion cable termocupla -
17	Error	FALLA	0		14		0	Temperatura alta	SECADORA 3	Desconexion cable termocupla -
18	Error	FALLA	0		15		0	Temperatura baja	SECADORA 6	Desconexion cable termocupla -
19	Error	FALLA	0		12		0	Temperatura alta	SECADORA 5	Desconexion cable termocupla -
20	Error	FALLA	0		13		0	Temperatura alta	SECADORA 6	Desconexion cable termocupla -
21	Error	FALLA	0		12		0	Temperatura alta	TORRE 1A	Desconexion cable termocupla -
22	Error	FALLA	0		12		0	Temperatura alta	TORRE 2A	Desconexion cable termocupla -
23	Error	FALLA	0		12		0	Temperatura alta	TORRE 3A	Desconexion cable termocupla -
24	Error	FALLA	0		12		0	Temperatura alta	TORRE 4A	Desconexion cable termocupla -
25	Error	FALLA	0		13		0	Temperatura alta	TORRE 1B	Desconexion cable termocupla -
26	Error	FALLA	0		13		0	Temperatura alta	TORRE 2B	Desconexion cable termocupla -
27	Error	FALLA	0		13		0	Temperatura alta	TORRE 3B	Desconexion cable termocupla -
28	Error	FALLA	0		13		0	Temperatura alta	TORRE 4B	Desconexion cable termocupla -
29	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 1A	Alarma presente en el quemador
30	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 1B	Alarma presente en el quemador
31	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 2A	Alarma presente en el quemador
32	Error	ALARMA	0		3		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 2B	Alarma presente en el quemador
33	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 3A	Alarma presente en el quemador
34	Error	ALARMA	0		3		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 3B	Alarma presente en el quemador
35	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 4A	Alarma presente en el quemador
36	Error	ALARMA	0		3		0	Falla quemador o falla reactor	TORRE 4B	Alarma presente en el quemador
37	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 1	Alarma presente en el quemador
38	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 2	Alarma presente en el quemador
39	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 3	Alarma presente en el quemador
40	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 4	Alarma presente en el quemador
41	Error	ALARMA	0		2		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 5	Alarma presente en el quemador
42	Error	ALARMA	0		3		0	Falla quemador o falla reactor	SECADORA 6	Alarma presente en el quemador
43	Error	ALARMA	0		0		0	Mucho tiempo sin alimentacion cascarrilla	REACTOR 1	Sensor de nivel o transportador
44	Error	ALARMA	0		1		0	Mucho tiempo sin alimentacion cascarrilla	REACTOR 2	Sensor de nivel o transportador

5. PLAN DE MANTENIMIENTO

Para que el sistema permanezca en buen estado es indispensable seguir al menos con este plan de mantenimiento básico, en el que se describe una breve indicación para el sostenimiento de las partes o equipos relevantes utilizados en el proyecto.

Tableros de control: el mantenimiento para estos tableros es el mismo que se tiene para cualquier otro tablero eléctrico en la planta. Resumo posibles acciones:

- Retirar polvo con ayuda de una aspiradora o con una brocha.
- Apretar terminales o tornillos de ajuste en equipos de protección, en los módulos de entradas y salidas, relés, borneras, porta fusibles, etc.
- Verificar que los conductores de tierra estén bien apretados y que además tengan continuidad eléctrica con la estructura del tablero.
- Revisar el estado de fusibles.
- Revisar, limpiar y ajustar equipos de ventilación.

PLC y módulos de ampliación: los equipos siemens de automatización no requieren de un mantenimiento preventivo fuera del prestado al lugar donde se encuentran, en caso de detectar una falla o un mal funcionamiento el problema debe ser atendido por una persona capacitada para el manejo del equipo.

Pantallas: las pantallas de visualización están diseñadas para un servicio con mínimo mantenimiento, este se limita a la limpieza regular de la pantalla y al cambio de batería.

En intervalos regulares limpiar la pantalla, para hacerlo utilizar un paño húmedo. Para humedecer el paño utilizar únicamente agua y detergente o un detergente espumante para pantallas. No atomizar el detergente directamente sobre la pantalla, sino sobre el paño de limpieza. No utilizar en ningún caso disolventes ni detergentes para fregar que sean agresivos. Si en la configuración está la función *Imagen de limpieza* vinculada a un elemento de operación, entonces se puede limpiar la pantalla cuando está conectada. Después de iniciarse la imagen de limpieza, dentro de un tiempo definido quedarán bloqueadas todas las entradas que se hagan por la pantalla táctil. El tiempo restante es indicado por una barra de progreso.

Opcionalmente se puede utilizar un papel autoadhesivo para proteger la superficie táctil de la pantalla.

La batería garantiza que el reloj interno del hardware siga funcionando cuando haya una interrupción del suministro de la corriente. Bajo condiciones de servicio normal, la batería tiene un tiempo de vida típico de aproximadamente 4 años. La batería sólo podrá ser sustituida por personal calificado.

Termocuplas: revisar el estado del bulbo cada 2 meses, en caso de tener adherencias de polvo o ceniza limpiar con un paño húmedo. Revisar y apretar los terminales del transmisor ubicado en el cabezal de la termocupla.

La calibración de los elementos sensores es recomendable hacerla cada 12 meses, este debe ser hecha por un equipo especial para tal fin.

Tener en cuenta que en caso de presentarse un problema, el sistema avisara de manera oportuna. No se deben ignorar estas advertencias.

Actuadores eléctricos: diariamente verificar el correcto funcionamiento del actuador, ya que es un elemento primordial en el sistema. Cada 30 días revisar los terminales ubicados en la tarjeta electrónica, en caso de presentar polvo, limpiar suavemente con una brocha o cepillo. Apretar las tuercas que unen al actuador y al eje de la válvula. Cada 6 meses inspeccionar el estado físico de las partes móviles del actuador.

Variadores: estos no requiere mantenimiento preventivo. Sin embargo, es aconsejable realizar de forma periódica (30 días) las siguientes operaciones:

- Compruebe el estado y los aprietes de las conexiones.
- Quitar el polvo al variador en caso necesario.

Asegúrese de que la temperatura del entorno del aparato se mantiene a un nivel aceptable y que la ventilación es eficaz (duración de vida media de los ventiladores: de 3 a 5 años según las condiciones de uso). Tener en cuenta que en caso de presentarse un problema, el sistema avisara de manera oportuna. No se deben ignorar estas advertencias.

Transmisor humedad temperatura: limpiar el equipo regularmente con un paño húmedo. Aproximadamente cada seis meses o en caso de detectar medidas erróneas ajustar el equipo con los botones o perillas para tal fin ubicadas en la tarjeta electrónica. La calibración de los elementos sensores es recomendable hacerla cada 12 meses.

Interruptores de nivel: revisar el estado del bulbo cada 2 meses, en caso de tener adherencias de polvo o ceniza limpiar con un paño húmedo. Revisar que el bulbo o sonda este completamente aislado del resto del equipo. Cada 2 meses calibrar el sensor utilizando las perillas de ajuste ubicadas en el cabezal del equipo.

6. CONCLUSIONES

- Estudiar el proceso, reconocer el problema o sus falencias antes de hacer el diseño en un proyecto de automatización industrial es tan importante como la preparación técnica en esta rama de la ingeniería electrónica. Lo importante no es solo que los equipos funcionen correctamente ya que el objetivo principal es obtener resultados y en este caso se lograron obtener mejoras fáciles de reconocer.

- El rendimiento en el proceso de secado mejoró alrededor de un 15% ya que los hornos siendo su fuente de calor lograron alcanzar puntos de trabajo mucho más altos para cada una de las situaciones que se puedan presentar. Este porcentaje es una cifra muy alta en relación a los niveles de producción que maneja la empresa, influyendo directamente en los costos de producción por kilo y en la capacidad de recibo de la planta.

- La calidad del secamiento tomada desde los indicadores de trilla, donde finalmente se definen las ganancias de la empresa también reportaron mejoras. Esto debido a la regulación continua a las temperaturas correctas requeridas en cada paso, logrando cumplir con los parámetros prescritos en la teoría para este tipo de procesos.

- Se simplificaron los procedimientos necesarios para la operación de la maquinaria y la toma de datos, reduciendo notablemente la dependencia con el operario en algunas tareas.

- La estandarización del proceso, su fácil análisis desde cada punto de supervisión y los avisos que estos pueden reportar hacen mucho más sencillo y rápido diagnosticar problemas que estén afectando al proceso.

- Posibles cambios en la parametrización del sistema son eventos poco frecuentes y solo los puede realizar el jefe de producción ya que estos se encuentran protegidos, el sistema trabaja solo y lo único que necesita es seguir las recomendaciones de mantenimiento.

Personalmente la experiencia fue muy valiosa, por ello a continuación haga referencia algunos de los aspectos más relevantes.

- Haber tenido la posibilidad de conocer a fondo procesos industriales, entender el concepto de producción, el trato con compañeros de trabajo, el desempeño

necesario para llevar a cabo las tareas propuestas y poder aplicar los conceptos aprendidos en la etapa de estudio hacen que esta posibilidad brindada por Molinos Roa S.A. y aceptada por la Universidad Surcolombiana sean una preparación adicional en el objetivo de ser Ingeniero.

- Para realizar el proyecto fue indispensable llevar a cabo un plan establecido, según las tareas que era necesario realizar. En este caso la responsabilidad fue completa, yendo desde el análisis de la necesidad, la elección y consecución de equipos, su instalación, puesta en marcha, hasta la capacitación del personal. En el transcurso de cada etapa se realizó un gran proceso de aprendizaje, sobretodo en la parte técnica donde se tuvo la posibilidad de conocer a fondo conceptos en instrumentación, actuadores y motores, unidades de control para la industria, métodos de comunicación para diferentes partes del proceso y sistemas de supervisión. El montaje de todos estos equipos teniendo en cuenta las protecciones, la normatividad y el método a utilizar fue un gran esfuerzo que espero haber podido explicar de manera breve pero clara en este informe.

BIBLIOGRAFÍA

CASTILLO NIÑO, Alvaro. GAVIRIA LONDOÑO, Jaime. Molinería de arroz en los trópicos. Primera edición, Bogotá, 2000. p. 33-128.

INOR. Intelligent 2-wire In-head Temperature Transmitter IPAQ H/HX, user instructions. 6 p.

NEPTRONIC. Actuator, specifications and installation instructions. 4 p.

PRINCO INSTRUMENTS INC. Instruction Manual, Princo Model L2000, Point Level Controller with NULL_KOTE™. Rev 2, 8 Mar 08. 20 p.

SIEMENS. Configurar el sistema de automatización S7-300: CPU 312IFM - 318-2 DP, manual de instalación. Edición 03/2006. 242 p.

SIEMENS. Micromaster 420, Instrucciones de servicio. Edición 10/06. 218 p.

SIEMENS. Multi Panel MP 370, Manual del equipo. Edición 09/02. 264 p.

SIEMENS. SIMATIC Manager STEP 7 V5.5, Information system.

SIEMENS. Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto. Edición 02/2006. 610 p.

SIEMENS. Sistema de periferia descentralizada ET 200M, Instrucciones de servicio. Edición 02/2006. 276 p.

SIEMENS. Wincc Flexible 2008 SP2, Information system. .

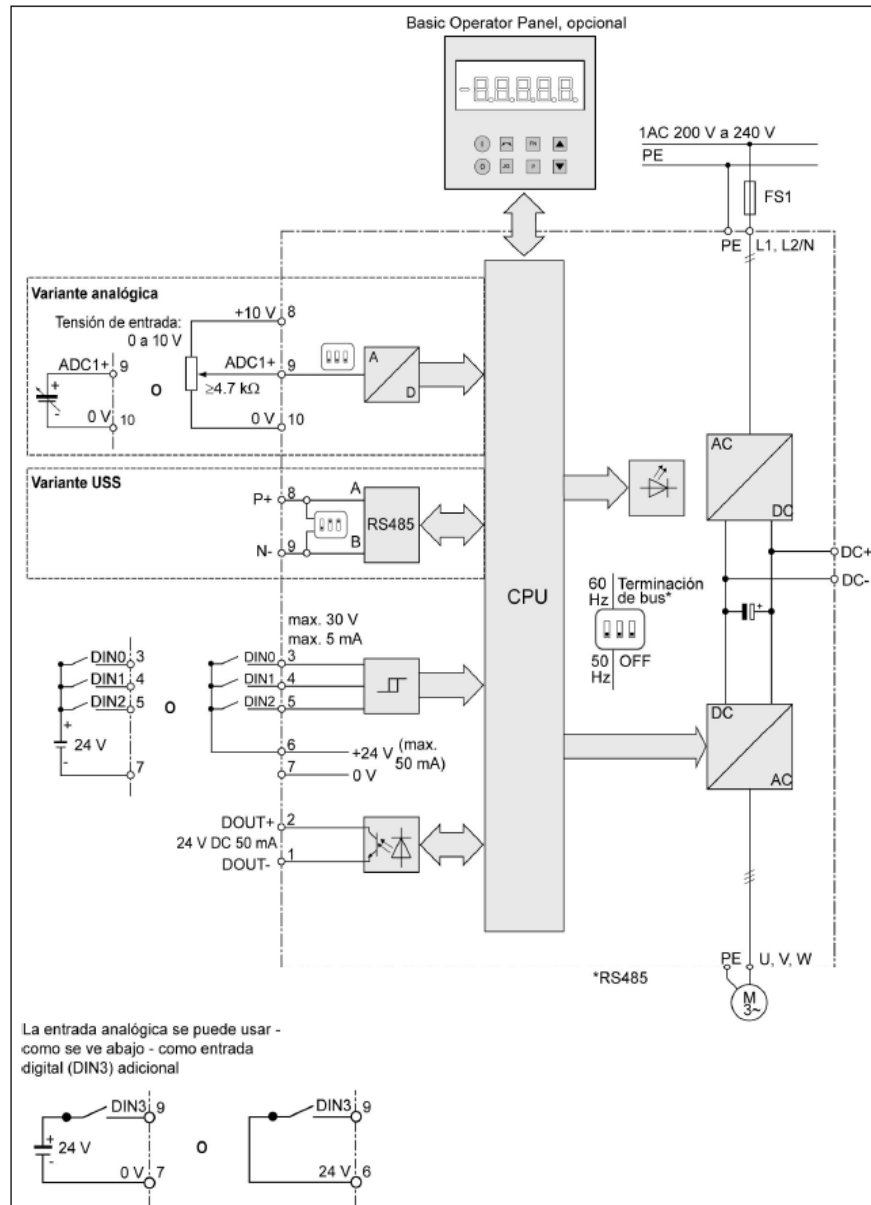
SIEMENS. Wincc V7.0 SP2, Information system.

VAISALA. Vaisala HUMICAP® Humidity and Temperature Transmitter Series HMT330, user's guide. 2008. 180 p.

ANEXO A

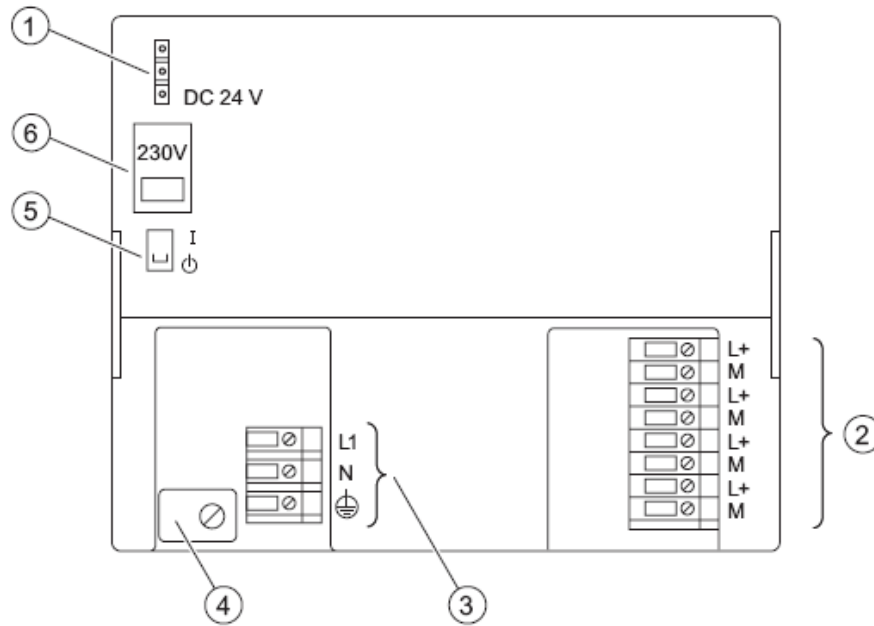
CONEXIÓN ELÉCTRICA DISPOSITIVOS DE CONTROL SIEMENS

Figura 56. Conexión eléctrica variador de frecuencia.



Micromaster 420, Instrucciones de servicio.

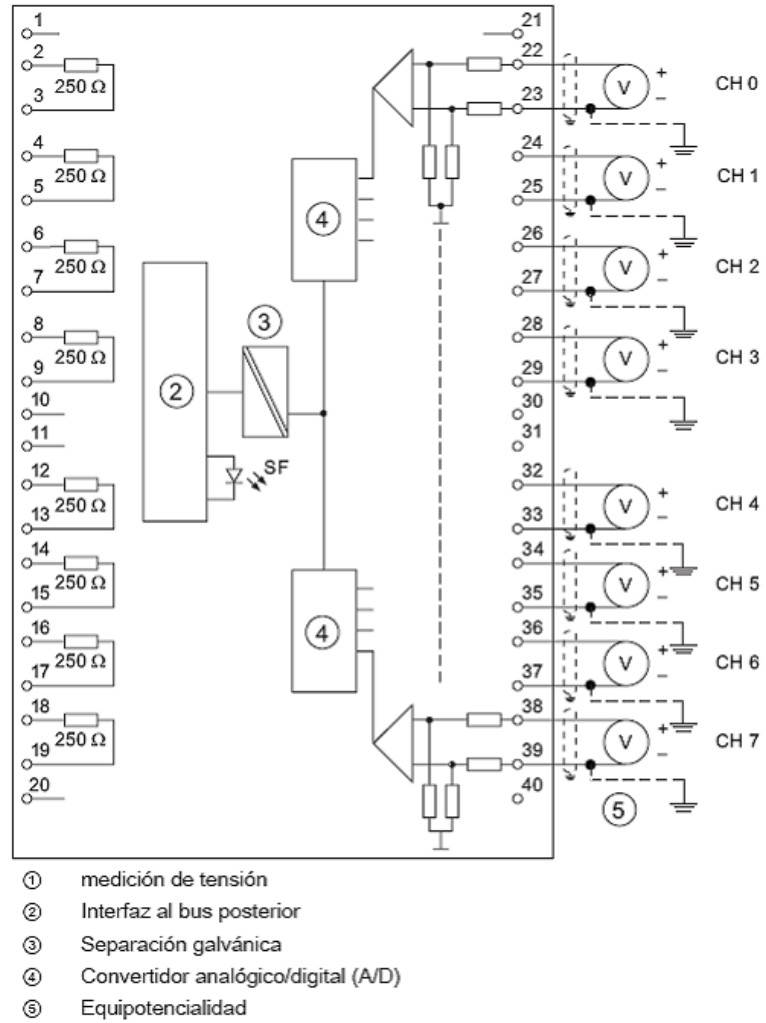
Figura 57. Fuente de alimentación Siemens PS307 10A.



- ① Indicador de "Tensión de salida 24 V c.c. aplicada"
- ② Bornes para tensión de salida 24 V c.c.
- ③ Bornes para tensión de red y conductor de protección
- ④ Alivio de tracción
- ⑤ Interruptor On/Off para 24 V c.c.
- ⑥ Selector de tensión de red

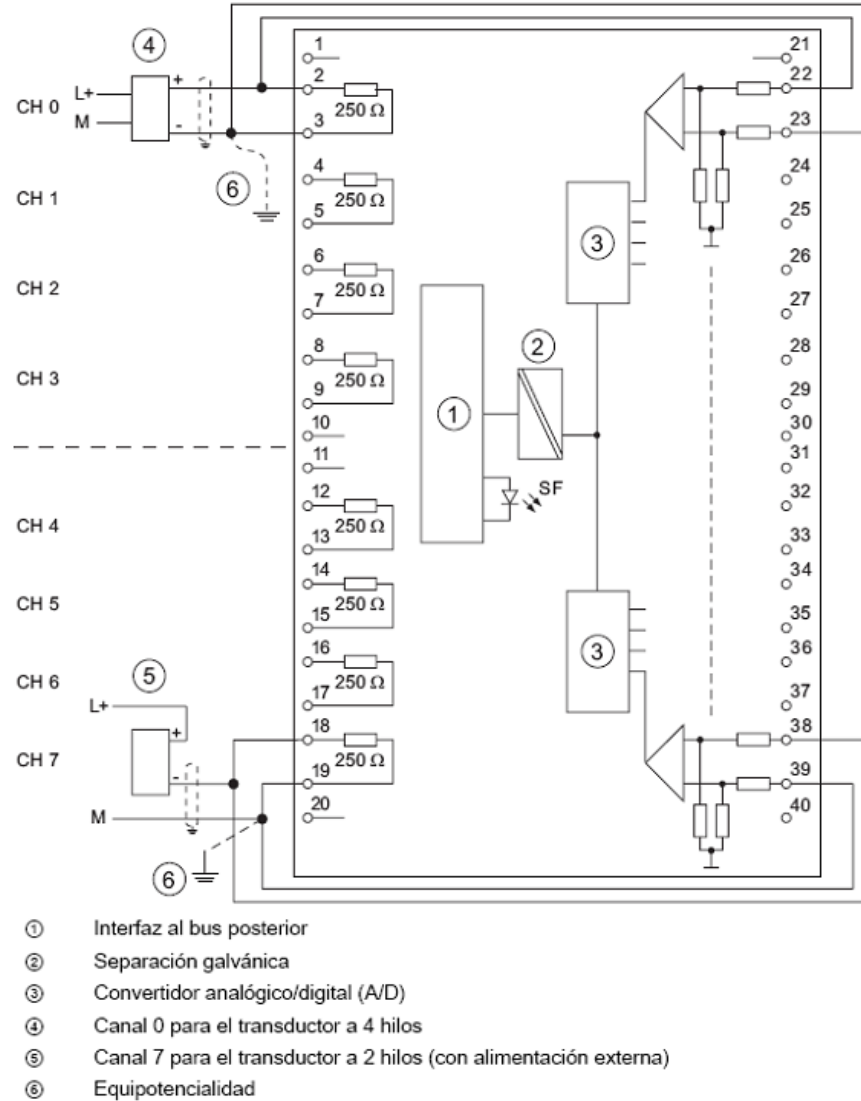
Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

Figura 58. Conexión entrada con referencia de voltaje.



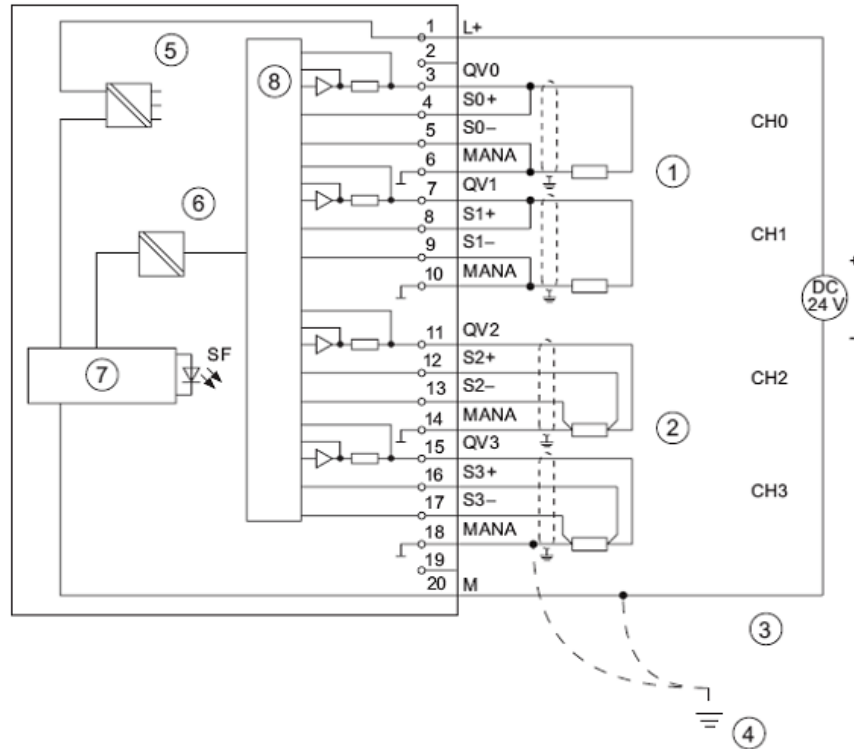
Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

Figura 59. Conexión entradas con referencia de corriente.



Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

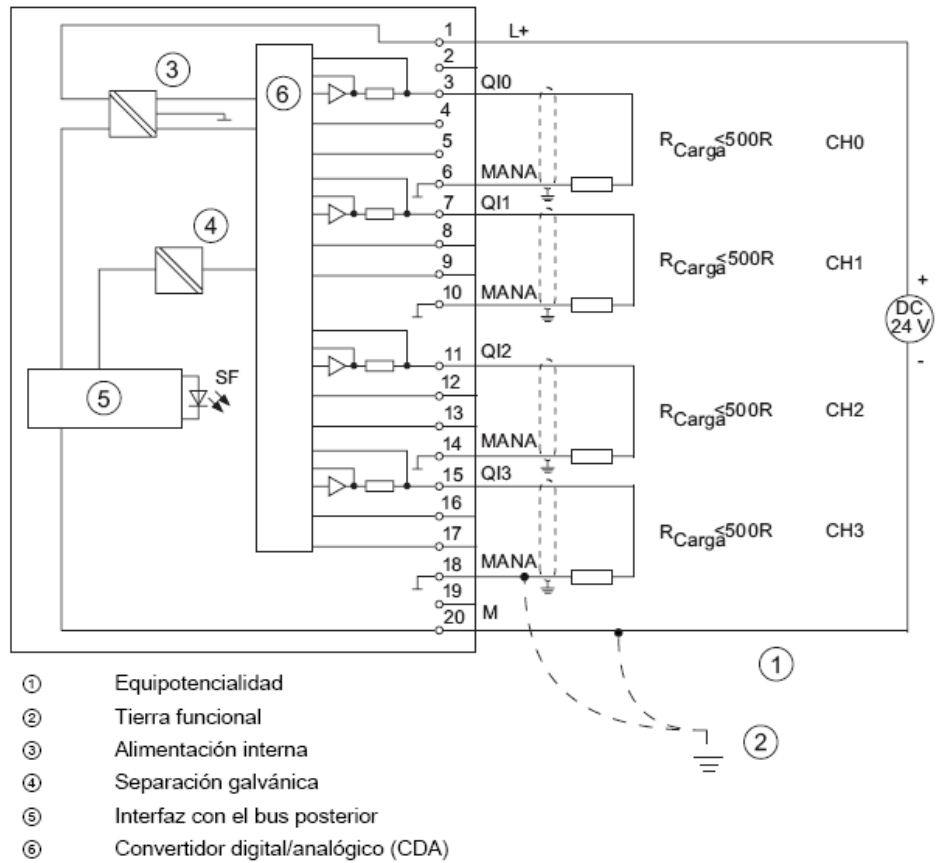
Figura 60. Conexión salidas con referencia de voltaje.



- ① Conexión a 2 hilos, sin compensación de las resistencias de potencia
- ② Conexión a 4 hilos, con compensación de las resistencias de potencia
- ③ Equipotencialidad
- ④ Tierra funcional
- ⑤ Alimentación interna
- ⑥ Separación galvánica
- ⑦ Interfaz con el bus posterior
- ⑧ Convertidor digital/analógico (CDA)

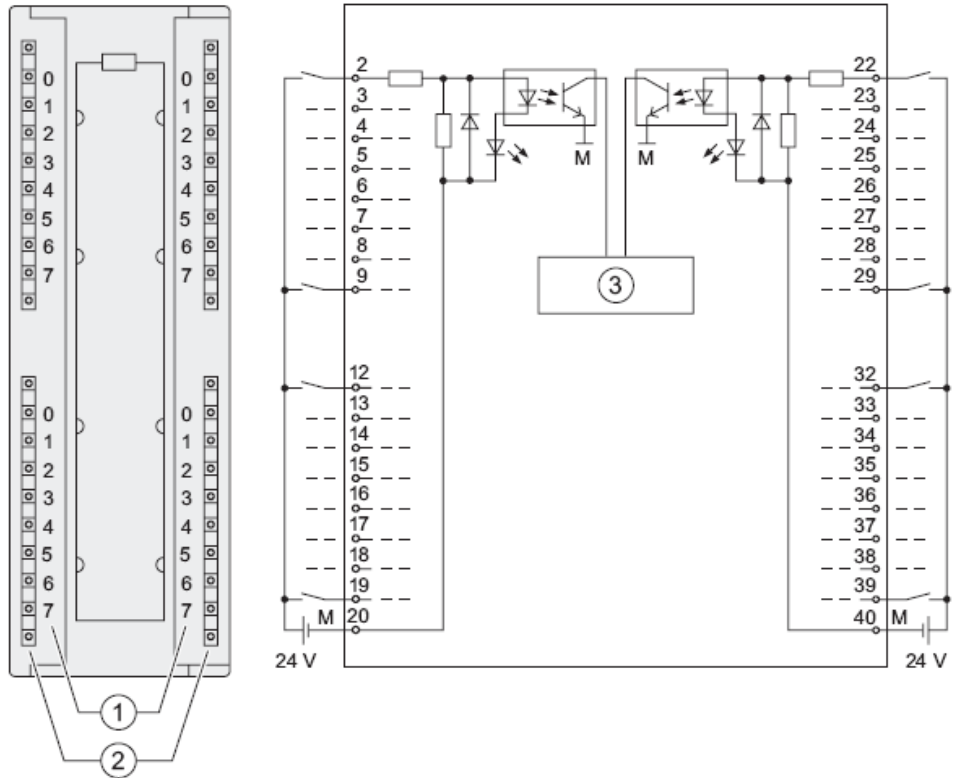
Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

Figura 61. Conexión salidas con referencia de corriente.



Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

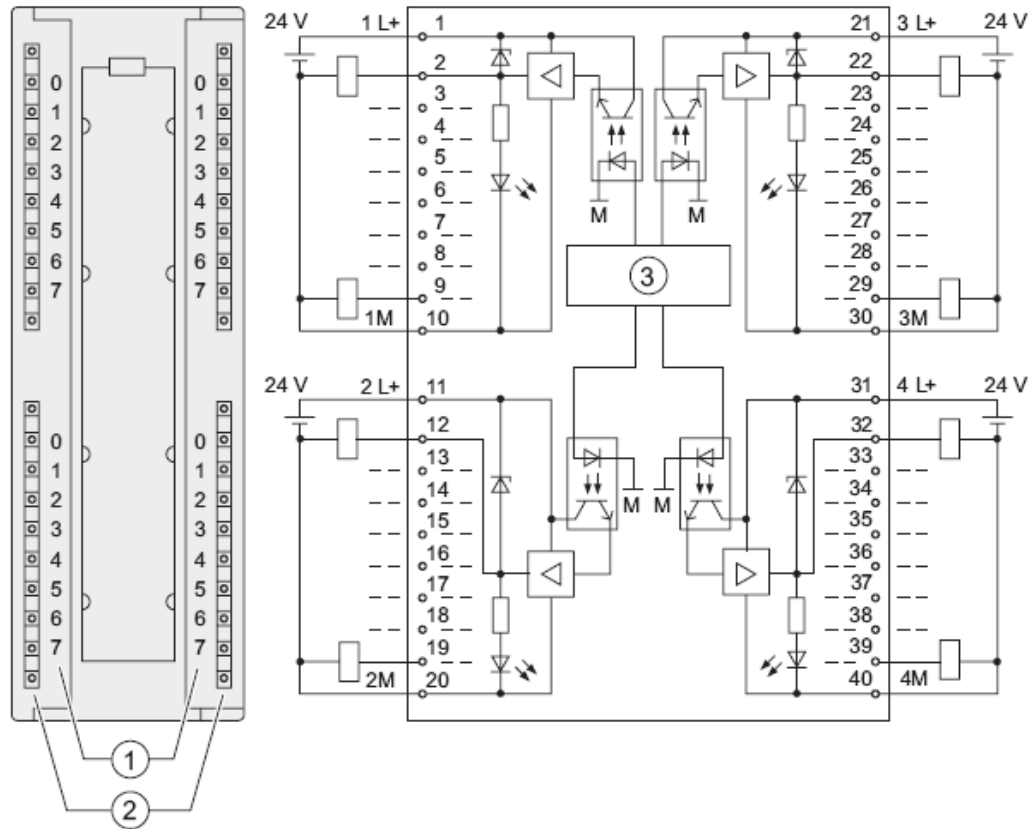
Figura 62. Conexión entradas digitales.



- ① Número de canal
- ② Indicación del estado – verde
- ③ Interfaz al bus posterior

Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

Figura 63. Conexión salidas digitales.



- ① Número de canal
- ② Indicación del estado - verde
- ③ Interfaz al bus posterior

Sistema de automatización S7-300: Datos de los módulos, Manual de producto.

ANEXO B
DATOS SOPORTADOS POR LA CPU

Tabla 3. Tipos de datos simples soportados.

Tipo y descripción	Tamaño en bits	Opciones de formato	Márgenes y representación numérica (del valor inferior hasta el valor superior)
BOOL (BIT)	1	Texto booleano	TRUE/FALSE
BYTE (BYTE)	8	Número hexadecimal	B#16#0 hasta B#16#FF
WORD (PALABRA)	16	Número binario Número hexadecimal BCD Número decimal sin signo	2#0 hasta 2#1111_1111_1111_1111 W#16#0 hasta W#16#FFFF C#0 hasta C#999 B#(0,0) hasta B#(255,255)
DWORD (PALABRA DOBLE)	32	Número binario Número hexadecimal Número decimal sin signo	2#0 hasta 2#1111_1111_1111_1111_ 1111_1111_1111_1111 DW#16#0000_0000 hasta DW#16#FFFF_FFFF B#(0,0,0,0) hasta B#(255,255,255,255)
INT (NÚMERO ENTERO)	16	Número decimal con signo	-32768 hasta 32767
DINT (ENTERO DE 32 BITS)	32	Número decimal con signo	L#-2147483648 hasta L#2147483647

REAL (NÚMERO EN COMA FLOTANTE)	32	IEEE Número en coma flotante	Límite superior: $\pm 3.402823e+38$ Límite inferior: $\pm 1.175495e-38$
Tipo y descripción	Tamaño en bits	Opciones de formato	Márgenes y representación numérica (del valor inferior hasta el valor superior)
S5TIME (TIEMPO SIMATIC)	16	Tiempo S7 en pasos de 10 ms (valor estándar)	S5T#0H_0M_0S_10MS hasta S5T#2H_46M_30S_0MS y S5T#0H_0M_0S_0MS
TIME (TIEMPO IEC)	32	Tiempo IEC en intervalos de 1 ms, número entero con signo	T#-24D_20H_31M_23S_648MS bis T#24D_20H_31M_23S_647MS
DATE (FECHA IEC)	16	Fecha IEC en pasos de 1 día	D#1990-1-1 hasta D#2168-12-31
TIME_OF_DAY (HORA)	32	Hora en intervalos de 1 ms	TOD#0:0:0.0 hasta TOD#23:59:59.999
NÚMERO ENTERO (CARÁCTER)	8	Caracteres ASCII	'A','B' etc.

SIMATIC Manager STEP 7 V5.5, Information system.