



TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de Ingeniero en Automática

Autor

Ernesto D. González Espinosa

Tutores

MSc. José A. Pullés Boudet

Ing. Antonio A. Mojena Bárcenas

Noviembre, 2023

TRABAJO DE DIPLOMA

Título

**Propuesta de Sistema de Automatización para el calentamiento de la
cazuela del horno de cuchara ACINOX Tunas**

Autor

Ernesto David González Espinosa

Tutores

MSc. José Antonio Pullés Boudet
Ing. Antonio Alberto Mojena Bárcenas

Noviembre, 2023



Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Nombre y firma del autor

Nombre y firma del Tutor

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Carrera

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Departamento

Fecha

Dedicatoria

Todo ser humano viviente proviene del vientre de una mujer, por lo tanto debemos dar las gracias todos los días de ser dichosos de compartir nuestros logros y tropiezos con nuestra madre, dedico este trabajo a la persona a quien debo todo lo que soy: mi madre.

Agradecimientos

Ha sido un camino largo y difícil, sin embargo, a pesar de sentirlo no he andado solo. Me han acompañado en esta travesía los mejores integrantes de un equipo, personas que por su constancia, amor y dedicación contribuyeron en la realización de una de mis metas. Por lo tanto, agradezco:

- ✓ A Dios porque aunque mi vida no es perfecta, es muy bonita porque te tengo en mi corazón. ¡Gracias por tu presencia y por amarme!
- ✓ A mi madre Alina por ser mi razón de ser.
- ✓ A mi viejo Ernesto por inspirarme a ser mejor y por dar todo de sí en pos de conseguir mis metas.
- ✓ A mi hermanita Dani por los consejos y la exigencia.
- ✓ A Osni, Cheo y Tony por la crianza secundaria, los valores y las manías.
- ✓ A mi viejito Gaspar que me cuida donde quiera que esté y por su ejemplo de superación y creatividad.
- ✓ A María y a Nono, los Carballos Alpízar por abrirme las puertas de su casa y acogerme como un hijo, por los regaños y las conversaciones.
- ✓ A mis amigos Tim, Eli, Hassan, el Negro, Yeni, Claudilla por el apoyo, la ayuda y la comprensión.
- ✓ Agradecimiento especial a mi tutor MSc. Ing. José Antonio Pullés Boudet por su ayuda incondicional en la elaboración de este trabajo, por enseñarme todo lo que necesitaba aprender al respecto. Gracias por sus conocimientos brindados, su entrega y dedicación.
- ✓ A ese grupo de cuatro muchachos inexpertos que se unieron a pesar de ser tan diferentes: Alicia, Yoan y Ángela.
- ✓ A Ángela Gabriela por motivarme, ayudarme, apoyarme y siempre estar presente en mi vida como estudiante universitario.
- ✓ A mis amigos por estar siempre a mi lado en las buenas y malas y por ayudarme a crecer, por las madrugadas de estudio, noches de risas y aventuras juntos: Ángel, David, Néstor, Wilber, Danay, Meli, Darío, los Joses, las Marías y todos los compañeros de la residencia.

A todos los que caminaron a mi lado a lo largo de esta etapa, quienes me hicieron mucho más fácil la vida y quienes sinceramente me hacen sentir afortunado por haber disfrutado de su compañía y porque me ayudan a seguir creyendo en un futuro mejor.

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas

| | |
|----------|---|
| RTU: | Remote Terminal Unit |
| MTU: | Master Terminal Unit |
| SCADA: | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> |
| LD: | <i>Ladder Diagram</i> |
| GRAFSET: | Grafica de control de etapa y transición. |
| CPU: | Unidad Central de Proceso |
| E/S: | Entrada/ Salida |

Listado de imágenes

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de tiempo del proceso de producción de acero. | 4 |
| Figura 2. Pirámide jerárquica en la automatización..... | 9 |
| Figura 3. Vista exterior de un Termopar..... | 15 |
| Figura 4. Válvula de Control típica. | 17 |
| Figura 5. PLC de diferentes fabricantes..... | 19 |
| Figura 6. Sistema SCADA típico. | 21 |
| Figura 7. Principio General del GRAFCET..... | 25 |
| Figura 8. Plano de la Cazuela. | 31 |
| Figura 9. Gráfico de calentamiento para la cazuela. | 32 |
| Figura 10. Cuchara de transferencia. | 34 |
| Figura 11. Termopar modelo EXACTSENSE..... | 37 |
| Figura 12. Sensor para la medición de Caudal SITRANS FC330..... | 38 |
| Figura 13. Elemento de regulación proporcional VKP40..... | 40 |
| Figura 14. Actuador SQM45..... | 40 |
| <i>Figura 15. Variador de Frecuencia SINAMICS V20</i> | 41 |
| Figura 16. PLC SIMATIC S7-200, CPU 224..... | 43 |
| Figura 17. Módulo de entradas analógicas Siplus EM 231 | 44 |
| Figura 18. Módulo de salidas analógicas Siplus EM 232 | 46 |
| Figura 19. Arquitectura de control | 46 |
| Figura 20. Circuito general | 48 |
| Figura 21. Conexiones del PLC S7-200 CPU 224 y sus módulos..... | 48 |
| Figura 22. Variador de frecuencia conectado al motor eléctrico con sus respectivas protecciones..... | 49 |
| Figura 23. Ventana principal de STEP 7 MicroWin. | 50 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 24. Circuitos control de combustión. | 52 |
| <i>Figura 25. Esquema de la combustión propuesto.</i> | <i>54</i> |
| Figura 26. Estructura externa del Quemador Horizontal. | 56 |
| Figura 27. GRAFCET de las secuencias de trabajo de la propuesta | 57 |

Listado de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tiempos de operación en el HAE | 5 |
| Tabla 2. Velocidad de calentamiento | 33 |
| Tabla 3 Características Técnicas del caudalímetro SITRANS FC330..... | 39 |
| Tabla 4. Características Técnicas del variador de frecuencia SINAMICS V20 | 42 |
| Tabla 5. Características de la CPU 224 | 43 |
| Tabla 6. Materiales y costos..... | 58 |
| Tabla 7. Mano de obra | 58 |
| Tabla 8. Costo total de la propuesta..... | 59 |
| Tabla 9. Tiempo de recuperación de la inversión | 59 |

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de un sistema de automatización de un quemador horizontal para el acondicionamiento térmico de la cazuela de Horno Cuchara. Para ello se realiza un análisis del flujo tecnológico del proceso de calentamiento de la cazuela y se describe la instrumentación propuesta para la automatización del proceso. Por otro lado se propone la arquitectura del sistema de automatización, software a utilizar, sistema de control propuesto y algoritmos de trabajo. Se culmina con la valoración económica e impacto medioambiental, todo ello para lograr una estrategia óptima que controle la temperatura y el suministro de combustible en el quemador horizontal de cazuela de Horno Cuchara.

Palabras claves: *Producción de aceros, Instalación de Vaciado Continuo (IVC)Horno Cuchara (HQ), quemador horizontal (QH).*

Abstract

This work presents the design of an automation system for a horizontal burner for the thermal conditioning of the Cuchara Oven pot. To do this, an analysis of the technological flow of the pot heating process is carried out and the instrumentation proposed for the automation of the process is described. On the other hand, the architecture of the automation system, software to be used, proposed control system and work algorithms are proposed. It culminates with the economic assessment and environmental impact, all to achieve an optimal strategy that controls the temperature and fuel supply in the horizontal pot burner of Horno Cuchara.

Key-words:

Producción de aceros, Instalación de Vaciado Continuo (IVC)Horno Cuchara (HQ), quemador horizontal (QH).

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas | I |
| Listado de imágenes | II |
| Listado de tablas | IV |
| Resumen..... | V |
| <i>Abstract</i> | VI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO 1. MARCO TEORICO REFERENCIAL..... | 4 |
| 1.1 Descripción del Flujo tecnológico en la acería: | 4 |
| 1.2 Caracterización de los Sistemas de Automatización:..... | 7 |
| Nivel I: Nivel de campo. | 8 |
| Nivel II: Nivel de máquinas y agregados tecnológicos. | 9 |
| Nivel III: Nivel de planta. | 9 |
| Nivel IV: Nivel de fabrica..... | 10 |
| Estrategias de Control utilizadas. | 10 |
| 1.3. Instrumentación Industrial: | 14 |
| 1.3.1. Sensores:..... | 14 |
| Medición de temperatura: | 14 |
| Medición de flujo o caudal: | 16 |
| 1.3.2. Actuadores:..... | 16 |
| Válvulas de Control Neumáticas:..... | 16 |
| 1.3.3. Controladores: | 17 |
| Controladores Lógicos Programables (PLC). | 17 |
| 1.4. Sistemas de Control y Supervisión: | 19 |
| 1.5. Metodología de Representación de sistemas secuenciales..... | 24 |
| 1.6. Comunicaciones Industriales | 26 |
| Redes Industriales | 26 |

| | |
|--|----|
| Protocolos de comunicación: | 27 |
| Conclusiones Parciales..... | 29 |
| CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA. | 30 |
| 2.1. Descripción del Flujo tecnológico del proceso de calentamiento de la cazuela:..... | 30 |
| 2.2. Propuesta de Instrumentación: | 34 |
| 2.3. Propuesta de Software de programación STEP 7--Micro/WIN | 49 |
| 2.4. Sistema de Control propuesto:..... | 51 |
| 2.5. Algoritmo de Trabajo. GRAFCET de la propuesta | 57 |
| 2.6. Valoración Económica | 58 |
| 2.7. Impacto Medioambiental | 59 |
| Conclusiones Parciales..... | 59 |
| CONCLUSIONES GENERALES..... | 60 |
| RECOMENDACIONES. | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA. | 62 |
| ANEXOS | 65 |

INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos, los procesos son muy variados y abarcan muchas producciones como: la fabricación de los productos derivados del petróleo, productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, la industria textil, y otros

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la simplicidad de los procesos; sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su función de actuación física directa en la planta y, al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas; asimismo, gracias a los instrumentos, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual. [1]

Con la inauguración de ACINOX, una acería, diseñada y suministrada por la firma italiana DANIELI S.A, en Las Tunas en el año 1992, la industria siderúrgica cubana, logró comenzar con la producción de aceros al carbono y la fundición de piezas de aceros aleados e inoxidables, parte fundamental en el desarrollo siderúrgico del país. En esta empresa se obtienen aceros de diferentes tipos y de una alta calidad, teniendo en cuenta las garantías que ofrecen estos productos y sus fines. En esta industria se producen palanquillas de acero al carbono y de baja aleación, producidas con tecnología de acerías eléctricas y de vaciado continuo a partir de chatarra de acero al carbono, el principal destino es la exportación a Centroamérica, el Caribe, Sudamérica y Europa

En cada etapa de la producción de acero interviene directamente la cazuela, la problemática que más preocupa a los tecnólogos y jefes de turnos del taller es

la determinación de la temperatura en su interior durante el proceso de calentamiento del refractario. Con el control de este parámetro proporciona la disminución de averías y de desperfectos técnicos, las cuales en ocasiones pueden ser fatales para el propio agregado dejándolo inutilizado. En ocasiones puede afectar a otros equipos que funcionen de conjunto en el proceso, causando pérdidas económicas y de tiempo por reparaciones. Hoy en día esta determinación se toma visualmente y depende de las experiencias de los jefes de turnos o jefes de brigadas, pero existen descorchos que se hacen difíciles de detectar, por no existir puntos de referencia.

Los quemadores industriales son utilizados en proyectos de Sistemas de Combustión Industrial, son desarrollados por ingenieros expertos en combustión, los quemadores industriales utilizan combustibles como el gas natural, gas LP, diésel, combustóleo o mezcla de combustible gas-líquido. Un quemador industrial coloca las cantidades necesarias de aire y gas para que se realice la combustión. Una de sus funciones es mezclar el aire y gas en las proporciones adecuadas, además las mantiene en constante, permite la regulación de la cantidad de aire de gas, mantiene la estabilidad de la llama, proporciona las dimensiones apropiadas para la llama dependiendo del lugar donde se efectúa la combustión, otorga un poder de radiación suficiente a la llama según la cantidad de calor o carga térmica.

Por lo anterior, se plantea como **problema de la investigación**, la ineficiencia en el control en los quemadores horizontales de cazuela en la Empresa ACINOX Las Tunas, debido a la inexistencia de un sistema automático y de instrumentación de las mismas.

Objeto de la investigación: el sistema de automatización en los quemadores horizontales de cazuela en la Empresa ACINOX Las Tunas.

Objetivo de la investigación: proponer un sistema de automatización para el calentamiento de la cazuela.

Campo de acción: El diseño de un sistema automatización y control.

Hipótesis: Si se logra implementar la instrumentación y el control en el quemador horizontal de cazuela se mejoraría el sistema de control de variables

como temperatura, presión y flujo; el índice de explotación del combustible, aire de alimentación, teniendo en cuenta las normas técnicas y seguridad descritas para instalaciones de este tipo, lo que resultaría en mejorar y alargar los ciclos de trabajo y mantenimiento respectivamente.

Tareas de investigación a realizar:

1. Estudio y caracterización del quemador horizontal de cazuela.
2. Selección de la instrumentación de campo, teniendo en cuenta que esta instrumentación debe presentar la suficiente seguridad tanto eléctrica como ambiental que posibiliten el trabajo seguro y sin riesgos de explosión, además de un protocolo de comunicación acorde al sistema de control a emplear.
3. Diseñar sistema de control.
4. Valoración económica y medioambiental.

Los **métodos** empleados para desarrollar la investigación fueron:

1. La observación del proceso tecnológico de las instalaciones
2. Técnicas empíricas.
3. Análisis de fuentes documentales.
4. Método de análisis y síntesis.
5. Entrevistas realizadas a personal calificado.
6. Métodos experimentales (diseño y programación).

La **estructura** del informe está dada por: Introducción, dos capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y 21 anexos.

En el Capítulo 1 se realizará una caracterización desde el punto de vista gnoseológico, histórico y actual del proceso de elaboración de acero. Así como la tecnología que se empleará para la solución de automatización.

En el Capítulo 2 se dará a conocer la propuesta de solución de automatización para el proceso de calentamiento de la cazuela de Horno Cuchara en el quemador horizontal.

CAPITULO 1. MARCO TEORICO REFERENCIAL PROCESO DE AFINO DE ACERO

En esta sección se presentará una descripción de los aspectos teóricos utilizados como punto de partida para el planteamiento de este trabajo de investigación. Primeramente se realiza una breve descripción del proceso de obtención de acero. Se definen los sistemas de automatización industrial, así como sistemas de visualización, supervisión y control. Por último se pretende modelar el proceso en cuestión.

1.1 Descripción del proceso de fundición en la acería:

A continuación se explican las partes fundamentales del proceso representadas en la Figura. 1:

1. Aseguramiento de la producción: El proceso tecnológico comienza con la descarga de chatarra de acero almacenándolas en fosos de acuerdo al tipo y densidad con la ayuda de dos grúas de 15 Toneladas equipadas con electroimanes y pulpos para la carga en las cestas con capacidad de 40m³.

La primera cesta se carga con una mayor capacidad de Toneladas de acero, en la segunda cesta la capacidad es menor y en la tercera también se reduce la capacidad para completar Toneladas de la colada. Luego de ser pesada la chatarra, la cesta se desmonta del carro y se deposita en el área, en espera de la disponibilidad del Horno Arco Eléctrico (HAE) este proceso transcurre en un tiempo de aproximadamente 45 minutos. [2]

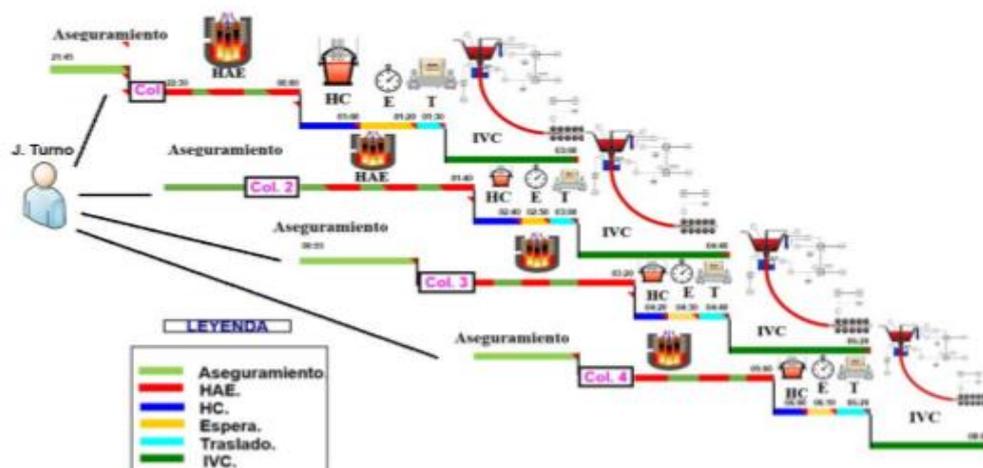


Figura 1. Diagrama de tiempo del proceso de producción de acero.

2. Fusión de chatarra en el HAE: Las cestas son cargadas al HAE por medio de una grúa de 100 ton. El HAE trabaja con electrodos de grafito de 500 mm, consta con un transformador de 40 MVA de corriente alterna, paneles y Bóveda refrigerada con agua.

El proceso de fusión de la carga metálica es totalmente automatizado por un autómatas programable ubicado en la cabina de mando acoplado a dos computadoras. El proceso de elaboración del acero se realiza por las siguientes etapas:

- Fusión de la carga (Intensificación con Oxígeno).
- Desfosforación.
- Calentamiento del acero (Escoria Espumosa).
- Reducción.
- Vertido.

La fusión de la carga se realiza durante la carga de cestas (ver tabla 1), luego de verter el acero de la colada precedente. Al terminar de verter y antes de la primera carga se realiza la revisión profiláctica del horno, donde se valora el estado del refractario, de los paneles enfriados con agua, y el largo de los electrodos. A una temperatura de 3000 a 5000°C, ocurriendo de esta forma la fusión de la chatarra.

Tabla 1. Tiempos de operación en el HAE

| Operación | Tiempo (Minutos) |
|---|------------------|
| Carga 1era cesta | 3 |
| Fusión de la 1era cesta al 80-90% | 27 |
| Carga 2da cesta | 3 |
| Fusión de la 2da cesta al 80-90% | 22 |
| Carga 3ra cesta | 3 |
| Fusión de la 3era cesta al 100% | 17 |
| Calentamiento y afino del metal (acero) | 25 |
| Tiempo total de fusión de la carga metálica | 100 |

Durante la fusión de la primera y segunda cestas se adicionan aproximadamente 1.100kg de Cal para formar la escoria y lograr un Índice de Basicidad mayor de 2. Durante la fusión de carga metálica se inyecta Oxígeno al 99.5% de pureza para intensificar la fusión de la chatarra y disminuir el tiempo de fusión de la

misma, que debe durar entre 65 y 70 min., momento en que se alcanza la temperatura de transformación de sólido a líquido que se encuentra en el rango 1535-1539°C.

3. Afino del acero: Una vez fundida las. Cesta al 80-90%, se inyecta por una Lanza Oxígeno y por la otra Carbón Grafito en la interfase Metal-Escoria, con la formación de CO(g) a través de la reacción de $[C] + 1/2 O_2 = CO(g)$, que Espuma la Escoria, cubriendo el arco de los 3 electros, aprovechándose prácticamente toda la Energía (calor) suministrada por el arco eléctrico en calentar el metal líquido hasta la temperatura de vertido, en un mínimo de tiempo, con ahorro de Energía Eléctrica, Electrodo de 500mm y Refractario Formación.

Al formarse la Escoria Espumosa, sale espontáneamente por la ventana de trabajo del horno, eliminándose el Fósforo, que se encuentra en la Escoria en forma de (P₂O₅), porque en este momento están creadas las condiciones para que ocurra la Defosforación. Aunque la Desulfuración del acero es favorecida por las altas temperaturas, en el Horno de Arco Eléctrico, no existen las condiciones reductoras necesarias para una profunda eliminación del Azufre, realizándose en el proceso en Horno Cuchara, que existen las condiciones reductoras de la escoria.

Una vez terminado el proceso de fusión de la carga en el Horno de Arco Eléctrico, el acero es vertido a una cazuela con capacidad suficiente, donde ocurre una desoxidación primaria del acero y se ajusta el metal al 80% de la marca. La cazuela es trasladada con ayuda de un carro porta-cuchara dotado de un sistema de pesaje y de inyección de gases (N₂ o Ar) al Horno Cuchara (HC) o al desescoriador para la eliminación de la escoria en caso de ser necesario. [3] [4]

5. **IVC:** Después que se realiza el ajuste final del acero tanto en composición como en temperatura el acero es enviado al área de vaciado (IVC), empleando una grúa de 100 ton en cuya área se encuentra una máquina con la posibilidad de vaciar planchones y palanquillas.

1.2 Caracterización de los Sistemas de Automatización:

Un sistema automatizado es el conjunto de elementos (equipamiento, sistema de información, y procedimientos) interrelacionados funcionalmente entre sí que conforman una estructura jerárquicamente expandida cuya función es garantizar el desempeño independiente del proceso a través operaciones de control y supervisión total del sistema, bajo las técnicas más modernas y cumpliendo los requisitos establecidos de acuerdo al tipo de planta.

Características que distingue un sistema automatizado moderno:

1. Esquemas de comunicación que garantizan el intercambio confiable de datos, tanto vertical como horizontal entre todos los componentes del sistema.
2. Alta capacidad de adaptación en las características del proceso para futuras aplicaciones, automatización flexible.
3. Trabajo en Tiempo Real.
4. Operación según el principio de: "Control descentralizado bajo mando e información centralizados".
5. Manejo y explotación de bases de datos.
6. Gran variedad de funciones implementadas que abarcan la explotación del sistema en las esferas de: automatización, control del proceso, monitoreo, ingeniería (simulación y parametrización), diagnóstico y ayuda, administración, etc.

Para el mejor estudio y conocimiento del tema de los sistemas de automatización, vamos a referirnos a la forma en que se organiza un sistema automático atendiendo a las funciones y características de los elementos que lo integran y en dependencia de los diferentes niveles que ocupan para una aplicación dada.

En la figura 2 se muestra la denominada pirámide de automatización compuesta por 4 niveles de automatismo jerárquicamente distribuidos. Cada uno se distingue por sus características particulares respecto a elementos de hardware y funciones asignadas. A continuación se describen las características que distinguen al sistema automático en cada uno de los niveles [5]:

Nivel I: Nivel de campo.

En este nivel se incluyen los sensores, transductores, motores, válvulas, actuadores, elementos de control final, instrumentación de campo, módulos de E/S, PLC's destinados al control de maquinas aisladas, dispositivos o procesos simples, lazos de control, robots, control de motores, etc.

Función básica: Control del equipamiento (lazos).

Características.

Medios Técnicos

- Sensores y actuadores.
- Reguladores PID convencionales.
- Reguladores digitales.
- Pequeños PLC.
- Comunicación
- Comunicación rápida.
- Pocos datos y distancias pequeñas.

Automatismo

- Interconexión de sensores en una máquina.
- Mando individual de máquinas aisladas y procesos simples.
- Lazos simples de control.
- Se ejecutan las decisiones operativas.

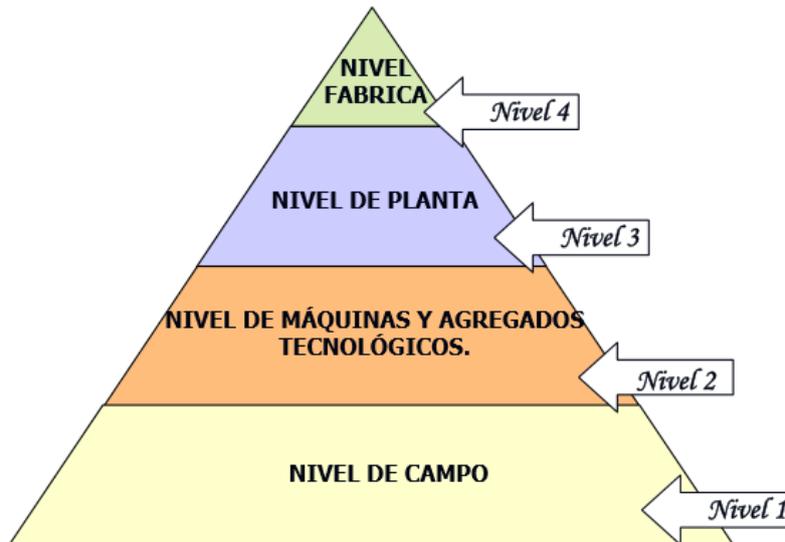


Figura 2. Pirámide jerárquica en la automatización.

Nivel II: Nivel de máquinas y agregados tecnológicos.

Este nivel abarca las máquinas, líneas de producción, líneas ensamble, procesos industriales.

Función básica: Automatización centralizada (que incluye control y supervisión).

Características.

Medios Técnicos

- Pequeños y medianos.
- PLC Controladores digitales medianos.
- Módulos de E/S.

Comunicación

- Distancias medias
- Mayor cantidad de flujo datos.
- Empleo bus campo.

Automatismo

- Interconexión de varias máquinas.
- Procesamiento de datos.
- Mando centralizado de máquinas y procesos.

Nivel III: Nivel de planta.

Abarca toda la planta (gestión de la producción)

Función básica: Control y gestión de la producción.

Características.

Medios Técnicos

- Grandes Controladores con gran cantidad de E/S.
- Módulos remotos de E/S.

Comunicación

- Redes de área local.
- Redes de autómatas y de ordenadores.
- Manejo de Bases de datos.

Automatismo

- Enlace entre ordenadores y autómatas medianos y grandes.
- Control total de la planta.
- Programación remota.
- Altos niveles de supervisión.

Nivel IV: Nivel de fabrica.

Este nivel abarca toda la Empresa o entidad en su conjunto. Función básica: Planificación y control de la producción.

Características.

Medios Técnicos

- Grandes Controladores operando en redes.
- Computadoras en función de la producción.

Comunicación

- Redes de alto nivel.
- Procesamiento de grandes volúmenes de datos y toma de decisiones.
- Bases de datos relacionales complejas.
- Grandes distancias.
- Pocas exigencias de velocidad, pero altas de fiabilidad.

Automatismo

- Sistemas abiertos.
- Alto nivel de procesamiento de información.
- Interrelación sistemas informáticos con industriales.
- Se establecen las estrategias de producción.
- Supervisión total del sistema.

Estrategias de Control utilizadas.

El controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) es un mecanismo de control que utiliza un lazo de retroalimentación para regular la velocidad, temperatura, presión y flujo en diversos procesos. Está compuesto por tres acciones de control: proporcional, integral y derivativa, que juntas permiten obtener una respuesta estable y rápida en la variable controlada [6]. A lo largo de los años, se han desarrollado variantes del controlador PID para adaptarse a diferentes aplicaciones y mejorar su desempeño. Algunas de estas variantes son:

- Controlador P: acción de control proporcional, que proporciona una salida del controlador proporcional al error.
- Controlador I: acción de control integral, que integra el error a lo largo del tiempo y proporciona una salida del controlador proporcional al área bajo la curva de error.
- Controlador D: acción de control derivativa, que calcula la tasa de cambio del error y proporciona una salida del controlador proporcional a esta tasa de cambio.
- Controlador PI: combinación de las acciones proporcional e integral, que proporciona una respuesta más rápida y estable que un controlador P o I por separado.
- Controlador PD: combinación de las acciones proporcional y derivativa, que proporciona una respuesta rápida y reduce el tiempo de establecimiento, pero puede ser sensible al ruido [6].
- Controlador PID: combinación de las acciones proporcional, integral y derivativa, que proporciona una respuesta rápida, estable y reduce el tiempo de establecimiento y el error en estado estacionario [6].

Además de estas variantes, se han desarrollado diferentes métodos de sintonización de controladores PID, como el método de Ziegler-Nichols y el método de ajuste en el lugar de las raíces, que permiten ajustar los parámetros del controlador para obtener un desempeño óptimo en un sistema específico [6].

Control en cascada

Control en cascada es una técnica de control que consiste en conectar la señal de salida de un controlador al setpoint de otro controlador, con cada controlador detectando un aspecto diferente del mismo proceso. El primer controlador, llamado primario o maestro, da órdenes al segundo controlador, llamado secundario o esclavo, a través de una señal de setpoint remoto. Por lo tanto, un lazo de control en cascada consta de dos lazos de control realimentados, uno anidado dentro del otro [7].

El control en cascada se utiliza para mejorar el desempeño del control que se logra por medio del control por retroalimentación, el cual es válido en un gran número de aplicaciones, sin embargo, en muchas de ellas la sintonización del regulador se hace complicada, y los resultados que se pueden llegar a obtener no son enteramente satisfactorios [8].

Algunos requisitos y ventajas del control en cascada son:

Requisitos:

- La variable de proceso secundaria debe responder más rápido que la variable de proceso primaria.
- El lazo interno (secundario) debe ser más rápido que el lazo externo (primario) [5].
- La frecuencia de oscilación en el lazo secundario debe ser al menos tres veces la frecuencia en el lazo primario, si estos están bien sintonizados[5].

Ventajas:

- Produce estabilidad en la operación.
- Las perturbaciones en el lazo interno o secundario son corregidas por el controlador secundario, antes de que ellas puedan afectar a la variable primaria.
- Cualquier variación en la ganancia estática de la parte secundaria del proceso es compensada por su propio lazo.

El control en cascada se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como el control de nivel en un tanque, el control de temperatura en un horno, el control de flujo en un sistema de tuberías, entre otros.

Control por relación

El control por relación es una técnica de control que se utiliza para controlar una variable en relación a otra. Este tipo de control se obtiene a través de dos arreglos o configuraciones. En ambos casos, siempre se deben medir ambas variables, pero una sola debe ser manipulada, se escoge dependiendo del proceso en particular, la otra corriente se conoce como variable no manipulada

El método de control de relación es generalmente utilizado para controlar el flujo o el volumen de una variable en función de otra. Esta técnica comúnmente se utiliza en procesos químicos.

El control por relación es similar al control de proporción o ratio, en el sentido de que una variable "no regulada" o "salvaje" determina el punto de referencia para una variable "esclava" o "cautiva". Sin embargo, en el control por relación, la relación matemática entre las variables "salvaje" y "esclava" es de suma o resta en lugar de multiplicación o división [9].

Control inteligente

El control inteligente es una técnica de control que utiliza la inteligencia artificial para mejorar el desempeño del control de procesos. Dos de las técnicas más utilizadas en el control inteligente son la lógica fuzzy y las redes neuronales.

La lógica fuzzy es una técnica de control que utiliza variables lingüísticas para describir el comportamiento de un sistema. Esta técnica se utiliza para controlar sistemas que son difíciles de modelar matemáticamente, ya que permite trabajar con variables imprecisas y difusas. La lógica fuzzy se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como el control de temperatura, el control de velocidad de un motor, el control de nivel en un tanque, entre otros [10].

Las redes neuronales son una técnica de control que se basa en la estructura y funcionamiento del cerebro humano. Las redes neuronales se utilizan para modelar sistemas complejos y no lineales, y se pueden utilizar para controlar sistemas que son difíciles de modelar matemáticamente. Las redes neuronales se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como el control de nivel y caudal en un sistema multivariable, el control de un pasteurizador tipo túnel, entre otros [11].

1.3. Instrumentación Industrial:

Para satisfacer las distintas demandas de automatización y control de los procesos industriales se utilizan instrumentos de medición, control, registro y automatización. Los instrumentos básicamente nos permiten conocer que está pasando en un determinado proceso industrial y sobre todo liberan a los operadores de hacer tareas manualmente.

Debido al constante desarrollo y el perfeccionamiento de la instrumentación industrial es importante aplicar distintos criterios de selección en dependencia a las características y necesidades de cada proceso.

1.3.1. Sensores:

Medición de temperatura:

La medida de las temperaturas constituye de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, o controlador necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado [12].

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran [12]:

- a) Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- b) Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencias).
- c) Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- d) fem creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- e) Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)
- f) Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido de un gas, frecuencia de resonancia de un cristal)

De este modo se emplean los instrumentos siguientes: termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido, gas o vapor, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo y termómetros de resistencia.

El termopar que se puede observar en la figura 3 se basa en el efecto, descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito cerrado formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura.



Figura 3. Vista exterior de un Termopar

Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier (año 1834) que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de los metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson (año 1854), que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

La selección de los alambres para termopares se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación, a la reducción y a la cristalización, que desarrollen una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo coste y de baja resistencia eléctrica, y que la relación entre la temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento de ésta sea (aproximadamente) paralelo al aumento de la temperatura [12].

Medición de flujo o caudal:

Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros [12].

La medida de caudal se utiliza en la industria para dos propósitos fundamentales:

- Contabilidad.
- Control de procesos.

Desde el primer punto de vista, los medidores de caudal se utilizan para contabilizar la transferencia de materia entre diversas partes del proceso, diferentes compañías, o bien entre suministrador y usuario.

Un ejemplo cotidiano de esto último se tiene al repostar gasolina en el automóvil. En cuanto al control de procesos, la medición de caudal es imprescindible para poder realizar control automático, así como para optimizar rendimientos en las unidades de producción aplicando balances de materia. Por esta causa, los caudales deben medirse y controlarse cuidadosamente [13].

1.3.2. Actuadores:

Válvulas de Control Neumáticas:

En el control automático de los procesos industriales, la válvula de control juega un papel muy importante en el lazo de regulación. Realiza la función de variar el caudal de fluido de control que modifica, a su vez, el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del lazo de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. En la figura 4 se representa una válvula de control típica [12].

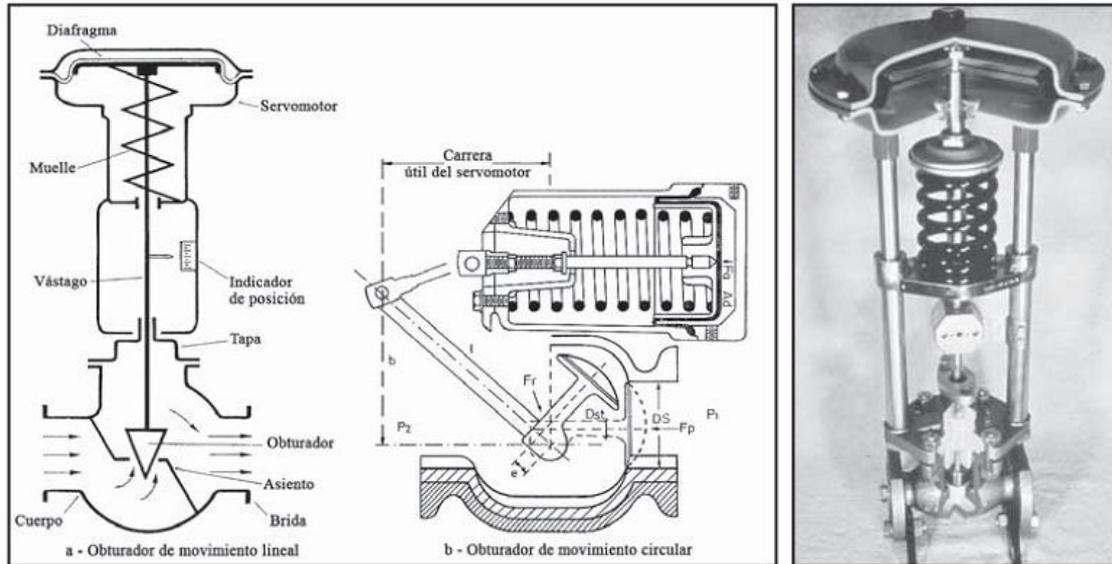


Figura 4. Válvula de Control típica.

La válvula de control neumática consiste en un servomotor accionado por la señal neumática de 3-15 psi (0,2-1 Kg/cm²). El servomotor está conectado directamente a un vástago que posiciona el obturador con relación al asiento. La posición relación va entre el obturador y el asiento permite pasar el fluido desde un caudal nulo (o casi nulo) hasta el caudal máximo, y con una relación entre el caudal y la carrera que viene dada por las curvas características de la válvula [12].

En los sistemas de control avanzado es importante que la válvula de control funcione de forma estable y tenga un buen comportamiento, lo cual significa que [13]:

- Tenga estabilidad a lo largo de todo el recorrido.
- No opere cerca de ninguno de los extremos.
- Sea suficientemente rápida para corregir las perturbaciones.

1.3.3. Controladores:

Controladores Lógicos Programables (PLC).

El Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller, PLC) es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. El PLC por sus características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. En la figura 5 se pueden apreciar distintos fabricantes de PLC. La constante

evolución del hardware y el software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración del mismo, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como [14]:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción prácticamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Instalaciones de procesos amplios y complejos.
- Chequeo de programación centralizada.

Ventajas de los PLCs

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir equipos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento.
- Aumenta la fiabilidad del sistema, elimina contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, al autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.



Figura 5. PLC de diferentes fabricantes

1.4. Sistemas de Control y Supervisión:

Los sistemas Control Supervisorio y Adquisición de Datos, son conocidos por el término SCADA, que proviene de las siglas en inglés "Supervisory Control And Data Acquisition".

Un SCADA consiste en un software de aplicación diseñado especialmente para ejecutarse sobre ordenadores destinados al control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores digitales autónomos, autómatas programables, instrumentación inteligente, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador [5].

Los SCADA permiten al cliente conocer en todo momento el estado de una instalación, centralizando toda la información de los emplazamientos remotos en uno o varios Puestos de Control. Los equipos de control situados en las estaciones analizan los parámetros más importantes recogiendo los valores aportados por los diferentes sensores. Cuando se identifica una situación especial o de alerta estos equipos realizan la actuación adecuada y advienen del mismo al Puesto de Control, desde donde se procesa la información y se genera de forma automática la señal de mando apropiada. De igual forma, desde el

Puesto Central se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones remotas.

Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y eficaces procedimientos de actuación para los operadores. Estos facilitan el trabajo del personal de mantenimiento permitiendo automatizar procesos hasta niveles insospechados por el propio cliente.

Los componentes de un sistema SCADA son los siguientes:

1. Instrumentación de campo.
2. Estaciones terminales remotas.
3. Red de comunicación.
4. Estación central de monitoreo.

Las Estaciones o Unidades Remotas (RTU: Remote Terminal Unit) reciben las señales directamente de los sensores de campo y a su vez comandan a los actuadores y demás elementos de control final. Para su interconexión disponen un canal de comunicación serie por cable o radio frecuencia Son programables y tienen capacidad de soportar algoritmos de control. Un PLC también puede integrarse dentro de una RTU y formar parte de la estrategia de control que se quiera implementar en el lugar.

La Estación Maestra, es un computador que permite correr un programa SCADA de cierta complejidad, que comprende diversas funciones de acuerdo a la aplicación.

Como puede apreciarse en la figura 6 un sistema SCADA se caracteriza por una combinación de telemetría (técnica empleada para transmitir y recibir información o datos sobre un determinado medio) y adquisición de datos. La información a transmitirse puede ser analógica o digital (nivel, temperatura, voltaje, velocidad, señales on/off, etc.) debiendo ser primeramente medida por los elementos y sensores ubicados a nivel de campo.

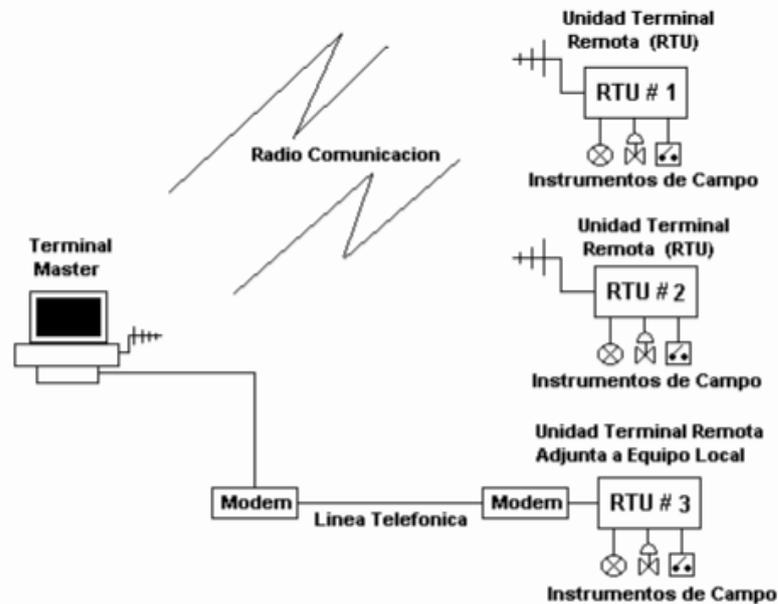


Figura 6. Sistema SCADA típico.

La Red o Sistema de Comunicación, se realiza por distintos soportes y medios: línea dedicada, línea telefónica, cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular, radio VHF/UHF, microondas, satélite, etc. De esta manera los datos son transmitidos hacia múltiples partes (en ocasiones a un sitio central) mediante el medio físico más apropiado. La manera de direccionar los diferentes sitios hacia donde se envía y/o recibe información del proceso, está incorporada como parte integrante dentro del sistema SCADA.

Principales funciones de los sistemas SCADA

- **Supervisión remota de instalaciones y equipos.** Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que posibilita dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- **Control remoto de instalaciones y equipos.** Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo, abrir válvulas, activar interruptores, prender motores), de manera automática y también manual. Además, es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, entre otros.
- **Procesamiento de datos.** El conjunto de datos adquiridos conforma la información que alimenta el sistema; esta información es procesada,

analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.

- **Visualización gráfica dinámica.** El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo. Representación de señales de alarma. A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
- **Almacenamiento de información.** Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos; esta información puede analizarse posteriormente. El tiempo de almacenamiento dependerá del operador o programador. Programación de eventos. Está referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas u otras [15].

Prestaciones.

Un paquete SCADA para poder llevar a cabo las funciones básicas mencionadas anteriormente, debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Adquisición de datos. Recolección de datos.
- Trending. Salvar los datos en una base de datos, y ponerlos a disposición de la mejor manera para su análisis. Incluye generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Procesamiento de Alarmas. Análisis de los datos recogidos para evaluar si han ocurrido condiciones anormales, y alertar a personal de operaciones sobre las mismas. Posibilidad de crear paneles de alarma, para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias
- Control. Control a Lazo Cerrado, e iniciados por operador. Incluye la ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso el programa total sobre el autómatas, bajo ciertas condiciones.

- Visualizaciones. Gráficos actualizados acerca del estado equipamiento que refleja los datos y variables del campo.
- Hot Standby, es decir, mantener un sistema idéntico con la capacidad segura de asumir el control inmediatamente si el principal, falla.
- Interfaces con otros sistemas. Transferencia de datos hacia y desde otros sistemas digitales, por ejemplo, el procesamiento de órdenes de trabajo, de compra, actualización de bases de datos, etc.
- Seguridad. Control de acceso a los distintos componentes del sistema.
- Administración de la red. Monitoreo de la red de comunicaciones.
- Administración de la Base de datos. Agregar nuevas estaciones, puntos, gráficos, cambio de alarmas, y en general reconfiguración del sistema.
- Aplicaciones especiales. Software de aplicación especial, asociado generalmente al monitoreo y al control de la planta.
- Sistemas expertos, sistemas de modelado. Incluir sistemas expertos incorporados, o capacidad de modelado de datos.

Requisitos.

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Software SCADA:

Algunos de los programas SCADA, o que incluyen SCADA como parte de ellos, son:

- CIRNET, de CIRCUTOR S.A.
- SCADA InTouch, de LOGITEK.
- WinCC, de Siemens.
- Coros LS-B/Win, de Siemens.

- SYSMAC SCS, de Omron.
- FIXDMACS, de Omron-Intellution.

1.5. Metodología de Representación de sistemas secuenciales

El **GRAFCET** (*Graphe de Commande Etape-Transition*) es un método gráfico, evolucionado a partir de las Redes de Petri que permite representar los sistemas secuenciales.

Es importante destacar que el GRAFCET no sirve únicamente para describir automatismos sino para explicar cualquier sistema que sea secuencial. Así podría ser muy útil para explicar una receta de cocina, el funcionamiento de un convertidor electrónico, un plan de estudios, un ensayo de laboratorio, etc.

La creación del GRAFCET fue necesaria, entre otros motivos, por las dificultades que comportaba la descripción de automatismos con varias etapas simultáneas utilizando el lenguaje normal. Dificultades similares aparecen al intentar hacer esta descripción con diagramas de flujo o usando los lenguajes informáticos de uso habitual.

En el año 1988, el GRAFCET es reconocido por una norma internacional, la IEC-848 Preparación de diagramas funcionales para sistemas de control (*Preparation of function charts for control systems*), con los nombres *Function Chart*, *Diagramme fonctionnel* o Diagrama funcional. La norma IEC no reconoce el nombre GRAFCET porque las traducciones pueden dar lugar a ambigüedades.

Un GRAFCET como se puede observar en la figura 7, es una sucesión de **etapas**. Cada etapa tiene sus **acciones** asociadas de forma que cuando aquella etapa está activa se realizan las correspondientes acciones; pero estas acciones no podrán ejecutarse nunca si la etapa no está activa.

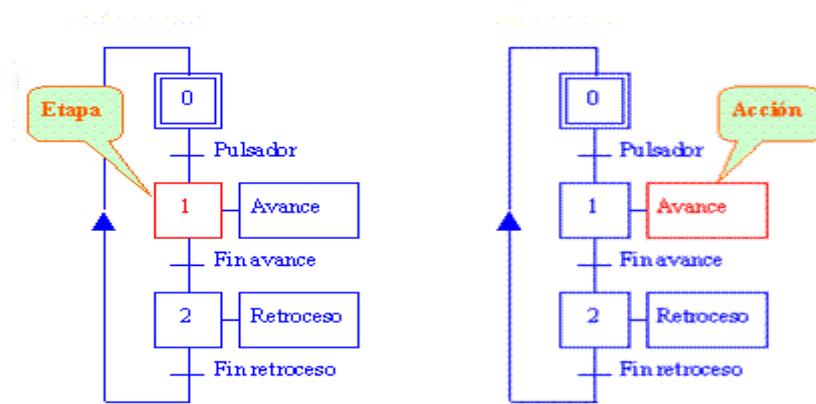


Figura 7. Principio General del GRAFCET.

Entre dos etapas hay una **transición**. A cada transición le corresponde una **receptividad**, es decir una condición que se ha de cumplir para poder pasar la transición. Una transición es **válida** cuando la etapa inmediatamente anterior a ella está activa. Cuando una transición es válida y su receptividad asociada se cumple se dice que la transición es **franqueable**. Al franquear una transición se desactivan sus etapas anteriores y se activan las posteriores. Las etapas iniciales, que se representan con línea doble, se activan en la puesta en marcha.

El GRAFCET puede utilizarse para describir los tres niveles de especificaciones de un automatismo. Estos tres niveles son los que habitualmente se utilizan para diseñar y para describir un automatismo.

Los tres niveles de GRAFCET son:

- **Nivel 1: Descripción funcional:** En el primer nivel interesa una descripción global (normalmente poco detallada) del automatismo que permita comprender rápidamente su función. Es el tipo de descripción que haríamos para explicar lo que queremos que haga la máquina a la persona que la ha de diseñar.
- **Nivel 2: Descripción tecnológica:** En este nivel se hace una descripción a nivel tecnológico y operativo del automatismo. Quedan perfectamente definidas las diferentes tecnologías utilizadas para cada función. El GRAFCET describe las tareas que han de realizar los elementos escogidos.
- **Nivel 3: Descripción operativa:** En este nivel se implementa el automatismo. El GRAFCET definirá la secuencia de actuaciones que realizará este automatismo. En el caso de que se trate, por ejemplo, de

un autómata programable, definirá la evolución del automatismo y la activación de las salidas en función de la evolución de las entradas.

Los elementos fundamentales de un GRAFCET son:

1. Etapas
2. Transiciones
3. Caminos y Reenvíos

1.6. Comunicaciones Industriales

Redes Industriales

Las redes industriales son sistemas de dispositivos interconectados que facilitan la transferencia de datos e información en un entorno industrial. Estas redes son vitales para la eficiencia operativa, la optimización de la producción y la seguridad. Las redes industriales permiten la comunicación entre dispositivos de campo, controladores y ordenadores, y están diseñadas y construidas para manejar el control en tiempo real y la integridad de los datos [16].

Las redes industriales se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como la automatización de procesos, la monitorización de la producción, el control de calidad, la gestión de la energía, entre otros [17].

ETHERNET INDUSTRIAL: La aceptación mundial de Ethernet en los entornos industriales y de oficina ha generado el deseo de expandir su aplicación a la planta. Es posible que con los avances de Ethernet y la emergente tecnología Fast Ethernet se pueda aplicar también al manejo de aplicaciones críticas de control, actualmente implementadas con otras redes específicamente industriales existentes, como las que aquí se mencionan [18].

Las redes industriales pueden tener diferentes topologías, siendo las más comunes la topología en anillo y la topología en malla [19].

- Topología en anillo: En esta topología, los dispositivos se conectan en un bucle cerrado, de manera que la información se transmite en un solo sentido. Cada dispositivo recibe la información y la transmite al siguiente dispositivo en el anillo hasta que llega al dispositivo de destino. Si un dispositivo falla, la red se interrumpe.

- Topología en malla: En esta topología, cada dispositivo se conecta a varios otros dispositivos, formando una red de conexiones. La información se transmite a través de diferentes rutas, lo que garantiza la redundancia y la tolerancia a fallos. Si un dispositivo falla, la información puede ser enviada a través de una ruta alternativa.

La elección de la topología adecuada dependerá de las necesidades específicas del sistema y de las características de los dispositivos que se van a conectar. Es importante tener en cuenta que existen otras topologías de red, como la topología en estrella, la topología en árbol y la topología en bus, cada una con sus propias ventajas y desventajas [20].

Protocolos de comunicación:

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un desarrollo gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado.

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo. Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4-20mA o 0 a 10VDC, según corresponda. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión.

Los protocolos para buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- HART (Highway Addressable Remote Transducer): es un protocolo de fines de 1980, que proporciona una señal digital que se superpone a la señal analógica de medición en 4-20mA. Permite conectar varios

dispositivos sobre un mismo cable o bus (Multidrop), alimentación de los dispositivos, mensajes de diagnóstico y acceso remoto de los datos del dispositivo, sin efectuar la señal analógica de medición. La mayor limitación es su velocidad (1200 baudios), normalmente se pueden obtener 2 respuestas por segundo. La alimentación se suministra por el mismo cable y puede soportar hasta 15 dispositivos.

- MODBUS: es un protocolo utilizado en comunicaciones vía módem-radio, para cubrir grandes distancias a los dispositivos de medición y control, como el caso de pozos de petróleo, gas y agua. Velocidad a 1200 baudios por el radio y mayores por cable.
- DEVICENET: resulta adecuado para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc. Provee información adicional sobre el estado de la red para las interfaces del usuario.
- AS-i (Actuador Sensor-interface): es un bus de sensores y actuadores binario y puede conectarse a distintos tipos de Controladores Lógicos Programables (PLC), controladores numéricos o computadores (PC). El sistema de comunicación es bidireccional entre un maestro y nodos esclavos. Está limitado hasta 100 metros (300 metros con un repetidor) y pueden conectarse de 1 a 31 esclavos por segmentos. El maestro AS-i interroga un esclavo por vez y para el máximo número tarda en total 5ms. Es un protocolo abierto y hay varios proveedores que suministran todos los elementos para la instalación. Constituye un bus de muy bajo costo para reemplazar el tradicional árbol de cables en paralelo.
- PROFIBUS: Esta desarrollada a partir del modelo de comunicaciones de siete niveles IS/ OSI (*International Standard/Open System Interconnect*).
- FIELDBUS FOUNDATION (FF): Esta desarrollada a partir del modelo de comunicaciones de siete niveles IS/ OSI (*International Standard/Open System Interconnect*). Es un protocolo para redes industriales, específicamente para aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización de la

fabricación. La longitud máxima por mensaje es de 256 bytes, lo que permite transferir funciones de control con el concepto de objetos.

Conclusiones Parciales

En este capítulo se caracteriza el proceso de fabricación de acero en la Empresa ACINOX-Las Tunas, así como las variantes que intervienen en el proceso. También se describen los sistemas de automatización industrial y sus elementos.

CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS. VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA.

En este capítulo se realizará una descripción de los elementos que intervienen en el calentamiento horizontal de la cazuela del Horno Cuchara, en función de esto elaborar una propuesta de automatización, pues para la selección del soporte técnico a utilizar se hace necesario la valoración de distintas variantes, de esta depende la selección adecuada de la instrumentación que permitirá lograr una mayor eficiencia en el proceso productivo. Actualmente, no existe ningún medio de automatización; el principal problema radica en el consumo excesivo de combustible y la falta de un controlador(PLC), la instrumentación de campo adecuada, por tanto, no existe un sistema de control de temperatura, lo cual incide en la ineficiencia del proceso de producción de acero, que se traduce en pérdidas económicas para la fábrica.

2.1. Descripción del Flujo tecnológico del proceso de calentamiento de la cazuela en ACINOX Las Tunas.

La cazuela o cuchara de colada es un recipiente metálico revestido de material refractario que cumple las siguientes funciones:

- Sirve de recipiente para transportar el metal desde la unidad de elaboración del acero hasta el lugar de colada;
- Es un dispositivo con cuya ayuda el acero se distribuye por las lingoteras o a la artesa en la instalación de colada continua;
- Desempeña el papel de la unidad en la que se efectúan una serie de procesamientos metalúrgicos (ajuste de temperatura, desulfuración, desoxidación, aleación, desgasificación, descarburación, homogeneización, eliminación de inclusiones)

Como consecuencia de la realización de la metalurgia en cazuela (metalurgia secundaria), este agregado está sometido a:

- a) Elevados tiempos de permanencia del metal en la cazuela;
- b) Altas temperaturas de trabajo;
- c) Escorias muy corrosivas con índices de basicidad variable;
- d) Choques térmicos;

e) Procesos muy abrasivos.

Como se puede apreciar en la figura 8, el revestimiento de la cazuela está formado por cuatro paredes de ladrillos refractario: la primera de manta cerámica de 5mm; la segunda pared es aislante de 32mm; la tercera pared es de seguridad de 76mm la cuarta pared es de trabajo de 178-200mm.

El piso de seguridad está formado por tres capas, la primera de 32mm, la segunda de 76mm y la tercera de 350mm.

En la unión del piso y la pared de trabajo, así como en la unión entre el piso del bloque de tapón poroso (BTP) y el bloque de cierre de correderas (BCC), se realiza con hormigón refractario de alta alúmina (más de 90% de Al_2O_3).

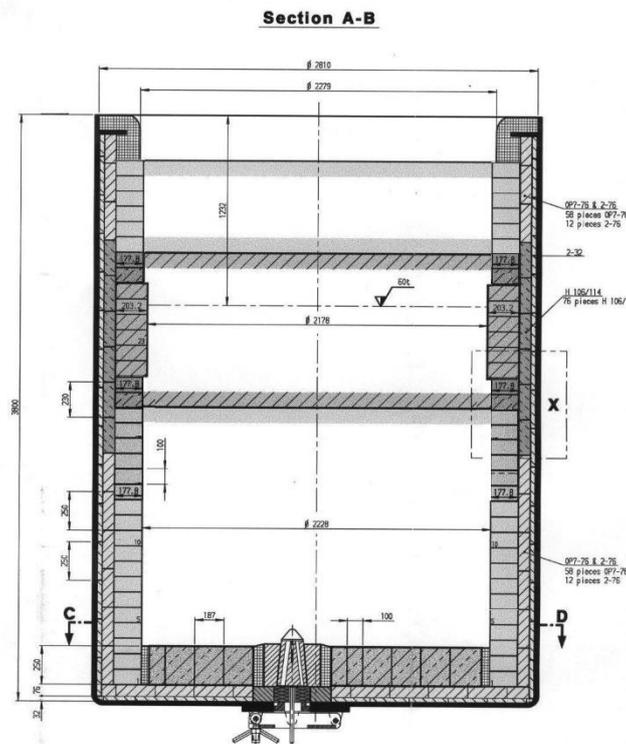


Figura 8. Plano de la Cazuela.

Como elementos de duración variables y poco satisfactorios están los bloques de tapón poroso y de cierres de corredera que deberían durar la campaña completa. El bloque de tapón poroso es un elemento conformado que sirve como soporte a la camiseta protectora del tapón y al propio tapón, a través del cual se inyecta el gas inerte para la agitación del metal líquido. Para la nivelación de este bloque con el piso, se utilizan dos piezas de elevación (CTP-1 y CTP - 2). El

bloque de cierre de corredera es un elemento conformado que sirve de soporte a la buza a través de la cual se realiza la salida del metal hacia la artesa.

Preparación de la cazuela:

Cuando las cazuelas cumplen con los criterios de durabilidad, se retiran de la explotación y se traslada al Taller de Cazuela, en donde se enfría utilizando un ventilador de tiro forzado. Cuando la cazuela se encuentra fría, se le ejecuta la defectación refractaria y mecánica en dependencia de la categoría de la reparación a efectuar.

El flujo de producción del Taller de Cazuela comienza con el revestimiento refractario de las cazuelas en el área de reparación de cazuelas, continuando con el secado en un quemador vertical de gas propano durante 8 horas en dicha área. Posteriormente, la cazuela se traslada hacia los quemadores horizontales donde continúa el proceso de secado y calentamiento hasta una temperatura entre los 900-1200°C durante 24-32 horas dependiendo del tipo de reparación efectuado. El proceso y la velocidad de calentamiento se muestran en la figura 9 y la Tabla 2 , respectivamente.

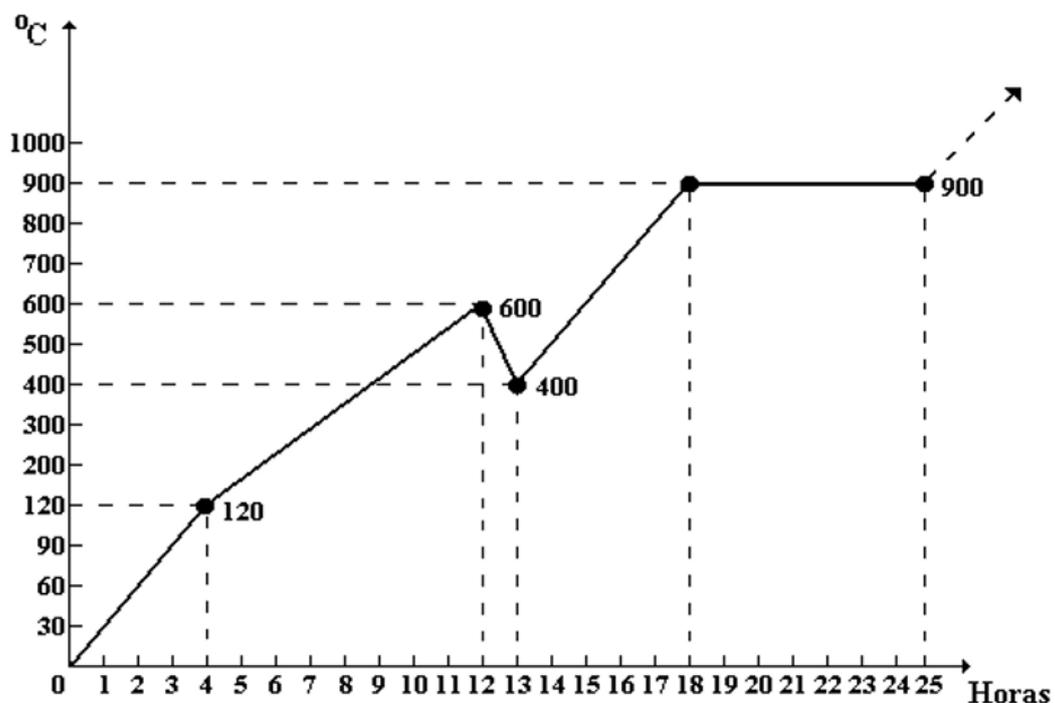


Figura 9. Gráfico de calentamiento para la cazuela.

Una vez concluido el calentamiento se habilita la cazuela colocándole el tapón poroso, buza, cierre de corredera y las tuberías para la inyección de aire (para el

enfriamiento de los muelles del cierre de corredera) y nitrógeno (para la agitación del metal) quedando lista para su puesta en explotación.

Tabla 2. Velocidad de calentamiento

| Horas | Velocidad de calentamiento |
|-------|--|
| 0-4 | 30°C para eliminar la humedad física. |
| 4-12 | 60°C para concluir secada eliminado humedad química. |
| 12-13 | Habilitar cazuela con pérdida aproximada de 200°C |
| 13-25 | 100°C por hora y mantener a 900°C mínimo el resto de las 7 horas (Homeneización de la temperatura) |

Previa a la colocación de la cazuela bajo el horno para recibir metal se le coloca la placa fija y deslizante y se cierra el mecanismo. Una vez que la cazuela está llena de metal se traslada hacia el horno cuchara donde es tratada durante 60 minutos aproximadamente. Posteriormente sube a la máquina de colada continua y realiza el vertido del metal en la artesa o “tundish”, obteniéndose las palanquillas. Cuando termina la colada se realiza el vuelco de la escoria y la cazuela es llevada al área de tapón poroso para su preparación, que comprende:

- Limpieza del tapón poroso
- Limpieza de la buza
- Revisión mecánica y refractaria de la cazuela.

En dependencia de las condiciones del tapón poroso y la buza se realizará su cambio. Según las condiciones del refractario de la cazuela, se realiza el parcheo de la misma con material proyectable¹, quedando lista la cazuela para el comienzo de un nuevo ciclo [21].

Para el acondicionamiento térmico de la cazuela del Horno Cuchara se utiliza un quemador en posición horizontal.

Los quemadores industriales son un componente clave en las aplicaciones de combustión industrial. La comprensión de estas aplicaciones es necesario a la hora de seleccionar el diseño de quemador adecuado. Un aspecto único de la industria metalúrgica es que los recipientes de transferencia se precalienten antes de introducir los metales fundidos para minimizar el choque térmico en el refractario, la figura muestra un ejemplo de precalentamiento de una cuchara de transferencia. Para la producción de metales ferrosos como el acero suelen

utilizarse quemadores industriales que inyecten altas temperaturas para el acondicionamiento térmico de la cazuela del HC(Ver figura 10).

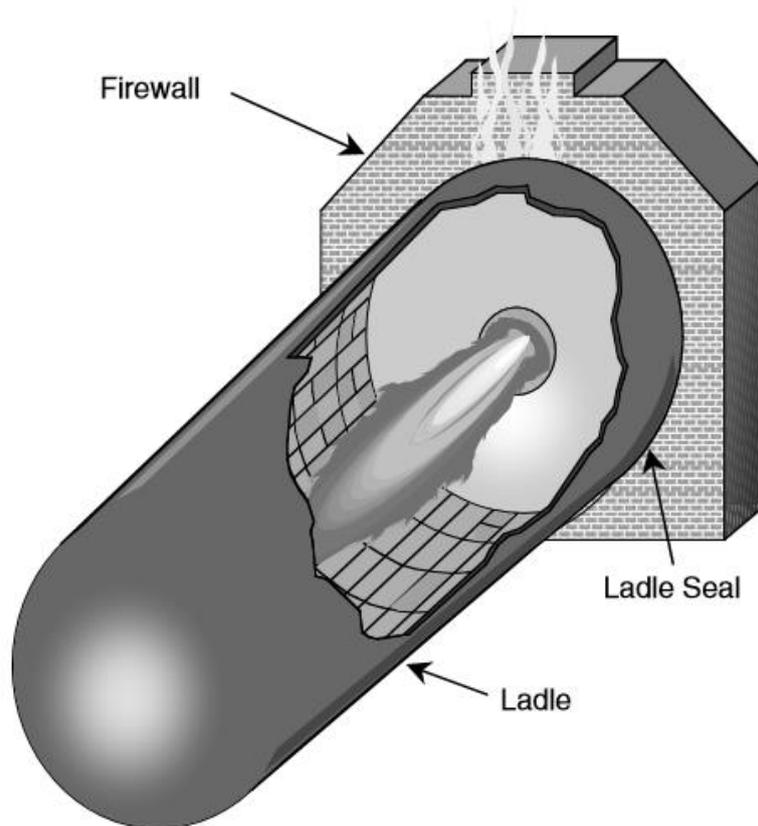


Figura 10. Cuchara de transferencia.

Dado a que los metales se funden a temperaturas más altas, en estas aplicaciones se suelen utilizar quemadores de mayor intensidad. Esto requiere una combustión mejorada por oxígeno y el precalentamiento del aire para aumentar la temperatura de la llama [22].

2.2. Propuesta de Instrumentación:

Al seleccionar instrumentación industrial para una propuesta de sistemas de automatización, es importante considerar varios criterios para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

Algunas de las especificaciones claves a tener en cuenta:

1. Rango de medición: Determinar el rango de valores que el instrumento puede medir de manera precisa. Asegurarse de seleccionar instrumentos

cuyos rangos de medición sean adecuados para las variables que se necesitan controlar o monitorear.

2. **Precisión y exactitud:** La precisión se refiere a la capacidad del instrumento para proporcionar medidas cercanas al valor verdadero, mientras que la exactitud se refiere a la capacidad del instrumento para proporcionar medidas consistentes y confiables. Considera la precisión y exactitud requeridas para tus aplicaciones específicas.
3. **Calibración y mantenimiento:** Asegúrate de que los instrumentos seleccionados sean fáciles de calibrar y mantener. Algunos instrumentos pueden requerir calibración regular para garantizar mediciones precisas y confiables. Considera también la disponibilidad de servicios de calibración y mantenimiento por parte del fabricante o proveedor.
4. **Compatibilidad y comunicación:** Asegúrate de que los instrumentos sean compatibles con el sistema de control y comunicación de datos que planeas utilizar. Verifica si los instrumentos son capaces de proporcionar señales analógicas o digitales, y si son compatibles con los protocolos de comunicación y los buses utilizados en el sistema de automatización.
5. **Ambiente y condiciones de trabajo:** Considera las condiciones ambientales en las que se desplegarán los instrumentos. Algunos entornos pueden requerir instrumentos resistentes a la corrosión, altas temperaturas, vibraciones o exposiciones a sustancias químicas. Asegúrate de que los instrumentos seleccionados cumplan con las especificaciones y certificaciones adecuadas para el entorno de trabajo.
6. **Costo y relación calidad-precio:** Evalúa el costo de los instrumentos y compáralo con su calidad y características. No siempre es necesario elegir los instrumentos más caros, pero es importante encontrar un equilibrio entre el costo y la calidad para garantizar una inversión efectiva y el cumplimiento de los requisitos del sistema de automatización.

Las especificaciones exactas y los criterios de selección de la instrumentación industrial pueden variar según la aplicación y los requisitos específicos de la propuesta de sistemas de automatización. Es recomendable consultar a expertos, ingenieros o consultores especializados en instrumentación industrial para obtener recomendaciones más precisas y personalizadas.

2.2.1. Sensores de temperatura:

La temperatura mínima a medir en el proceso es 750 °C y la máxima es 1200°C por lo que se selecciona un termopar tipo K. Los termopares tipo K suelen funcionar en la mayoría de las aplicaciones, ya que tienen una base de níquel y presentan buena resistencia a la corrosión. El termopar tipo K se utiliza hasta temperaturas de 1260°C. Se recomienda su protección adecuada de la cerámica o el metal para su limpieza y cuidado ya que este tipo de sensores operan a altas temperaturas [23].

Para la medición de la temperatura se escoge el termopar EXACTSENSE® de Watlow (Ver Figura 11) proporciona la precisión, el tiempo de respuesta y la durabilidad necesarios para el control de temperatura. Los beneficios resultantes incluyen mayor eficiencia, mejor economía de combustible y mejores emisiones para cumplir con los requisitos globales más estrictos.

El termopar EXACTSENSE cuenta con Electrónica dentro de una carcasa de conector moldeada. La electrónica convierte la señal del termopar en una señal de salida analógica o digital que sea compatible con el módulo de control. Tener un sensor con la electrónica integrada ayuda a mejorar el sistema general.

El termopar EXACTSENSE incluye WATCOUPLE™ tecnología de detección. Esta tecnología utiliza materiales seleccionados por su estabilidad y longevidad a altas temperaturas que hacen de este termopar una opción ideal para aplicaciones de quemador, llama y turbo. El mineral es duradero en aplicaciones que requieren grandes profundidades de inmersión de hasta 7,9 pulg. (200 mm). La construcción con aislamiento mineral permite que la punta cerrada sea más duradera dando como resultado tiempos de respuesta más rápidos. La construcción cónica EXACTSENSE da como resultado un mejor control y una mayor vida útil del sensor. El termopar EXACTSENSE está disponible con una variedad de opciones estándar para satisfacer requisitos específicos.



Figura 11. Termopar modelo EXACTSENSE

2.2.2. Sensor de caudal

Un caudalímetro másico Coriolis pueden medir prácticamente todos los fluidos: detergentes, disolventes, combustibles, petróleo crudo, aceites vegetales, grasas animales, látex, aceites de silicona, alcohol, soluciones de fruta, pasta de dientes, vinagre, ketchup, mayonesa, gases o gases licuados.

El medidor de flujo Coriolis también conocido como medidor de flujo másico o medidor de flujo inercial, es un dispositivo que funciona según el principio de la inercia que genera un fluido mientras fluye a través de un tubo oscilante. Los medidores de flujo másico Coriolis miden la masa a través de inercia. El gas denso o líquido fluye a través de un tubo que se hace vibrar por un pequeño actuador. Esta aceleración produce una fuerza de torsión medible en el tubo que es proporcional a la masa.

El efecto Coriolis es una consecuencia de la conservación del momento angular en un sistema en rotación. Cuando un objeto se mueve en un sistema de referencia en rotación, experimenta una fuerza ficticia llamada fuerza de Coriolis, que actúa perpendicularmente a su velocidad.

Por la alta calidad y el cumplimiento de los requerimientos del proceso se escoge el Caudalímetro de efecto Coriolis SITRANS FC330 de fabricación Siemens.

El sistema de caudalímetro completo SITRANS FC330 se puede pedir para servicio estándar. El caudalímetro se basa en los últimos avances en tecnología de procesamiento de señales digitales, y se ha diseñado para ofrecer una elevada capacidad de medición:

- Respuesta rápida a cambios rápidos de flujo.
- Aplicaciones de dosificación rápida.
- Alta inmunidad contra ruido del proceso.
- Elevada relación entre caudal máx. y mín. medible.
- Adecuado para líquidos y gases.
- Fácil de montar, poner en servicio y mantener.



Figura 12. Sensor para la medición de Caudal SITRANS FC330.

En la figura 12 se puede observar el sistema de caudalímetro SITRANS FC330 que consta de un sensor SITRANS FCS300 y un transmisor SITRANS FCT030. El transmisor incluye un display gráfico que el usuario puede configurar y SensorFlash, una tarjeta micro SD para la copia de seguridad de configuraciones, actualizaciones de firmware y almacenamiento de datos [24]. A continuación se muestra una tabla con los algunos de los datos técnicos principales que se tubieron en cuenta para la seección del sensor transmisor SITRANS FC330.

Tabla 3 Características Técnicas del caudalímetro SITRANS FC330

| | |
|------------------------|--|
| Tamaños | DN 15 (½") DN 25 (1") DN 50 (2") DN 80 (3") DN 100 (4") DN 150 (6") |
| Exactitud | ± 0,10 % o 0,20 % con líquidos ±0,40 adicional con gases |
| Rango de Caudal | |
| DN 15 (½") | 4 500 kg/h (163.3 lb/min) |
| DN 25 (1") | 20 500 kg/h (753.2 lb/min) |
| DN 50 (2") | 49 000 kg/h (1 800 lb/min) |
| DN 80 (3") | 122 000 kg/h (4 483 lb/min) |
| DN 100 (4") | 273 000 kg (10 031 lb/min) |
| DN 150 (6") | 459 200 kg/h (16 873 lb/min) |
| Alimentación eléctrica | 20 ... 90 V DC ± 10 %; 100 ... 240 V AC ± 10 %, 47 ... 63 Hz ± 10 % |
| Comunicación | HART PROFIBUS PA PROFIBUS DP Modbus RTU (RS 485) |

2.2.3. Válvulas de Control

Elemento de regulación proporcional VKP40 de Siemens que se observa en la figura 13. Ideal para la regulación del caudal de combustible. Cuenta con un amplio rango de modulación:

- Rango de conexión de la brida ½...2".
- Ángulo de giro 90°.
- Indicado para gases de las familias I...III así como aire.
- En combinación con actuadores varios actuadores (SQN13, SQN30, SQN72, SQM33, SQM4 o SQM5).
- Puede acoplarse a válvulas dobles de gas.
- Por su amplia vida útil no requiere de mantenimiento.



Figura 13. Elemento de regulación proporcional VKP40

Actuador para regulación de compuertas de aire y gas SQM45 de Siemens:

El actuador SQM45 está concebido para el accionamiento de reguladores de presión de aceite, válvulas de chapaleta, válvulas de mariposa u otras aplicaciones con movimiento giratorio(ver figura 14). Se transmite a través de un engranaje cilíndrico de plástico con escasa holgura, con lubricación de por vida.



Figura 14. Actuador SQM45

Datos técnicos:

| | |
|-------------------------|---|
| Tensión de alimentación | 2 x 12 V CA mediante cable de bus desde la unidad básica o transformador aparte |
| Motor de accionamiento | Paso a paso |
| Consumo propio | 9...15 VA |
| Ángulo de rotación | Máx. 90° |

| | |
|-------------------|--|
| Entrada de cables | Inserto roscado enchufable para racores atornillados para cable 2 x M16 |
| Vida útil | 250.000 ciclos de arranque (CERRADO-ABIERTO-CERRADO) en caso de carga con par nominal en todo el rango de ángulos de giro. 2.000.000 ciclos de regulación en caso de carga con un 75 % del par nominal en el rango de ángulo de giro de 10° |

2.2.4. Variador de Frecuencia

Hoy en día, en un número cada vez mayor de aplicaciones en plantas y construcción de maquinaria, automatización individual y accionamiento. Se exigen soluciones que automaticen el movimiento simple secuencias con bajos requisitos asociados [24].

Con su compacto SINAMICS V20 (Ver Figura 15), Siemens ofrece una solución sencilla y rentable de accionamiento para este tipo de aplicaciones. SINAMICS V20 se distingue por su rápida puesta en marcha tiempos, facilidad de operación, robustez y rentabilidad.



Figura 15. Variador de Frecuencia SINAMICS V20

En la tabla 4 se muestran las características técnicas principales que se consultaron para la elección del variador de frecuencia

Tabla 4. Características Técnicas del variador de frecuencia SINAMICS V20

| | |
|------------------------------|--|
| Voltaje | 1AC 230V: 1AC 200V ... 240V (-10% ... +10%) 1) 3AC 480V: 3AC 380V ... 480V (-15% ... +10%) |
| Maximo voltaje de salida | 100% of input voltage |
| Frecuencia de abastecimiento | 50/60Hz |
| Rango de intensidad | 1AC 230V 0.12 ... 3.0 kW (1/6 ... 4 CV) 3AC 480V 0.37 ... 30 kW (1/2 ... 40 CV) |
| Frecuencia de salida | 0...550Hz |
| Factor de eficiencia | 98% |
| Modos de Control | Modos de Control voltaje/frecuencia: Linear V/f Cuadrado V/f Multipunto V/f Modo de control de flujo de corriente: FCC |

2.2.5. Controlador S7-200

La gama S7--200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro--PLCs) que se pueden utilizar para numerosas tareas. El S7--200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario que puede incluir operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes. Gracias a su diseño compacto, su configuración flexible y su amplio juego de operaciones, el S7--200 es especialmente apropiado para solucionar numerosas tareas de automatización [25].

Para programar un quemador industrial por un control cruzado o por relación utilizando la gama de CPUs S7-200 de Siemens, se recomienda utilizar una CPU con capacidad de comunicación y alta velocidad de procesamiento[2]. Para esta propuesta se utiliza: A continuación en la figura 16 se muestra el controlador Siemens SIMATIC S7-200 224 CPU module, 24VDC, 14 entradas digitales, 10 salidas a transistor.



Figura 16. PLC SIMATIC S7-200, CPU 224.

Esta CPU tienen capacidad de comunicación y alta velocidad de procesamiento, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de control cruzado o por relación. También tiene amplia compatibilidad con módulos de ampliación, tanto analógicos como digitales. Sin embargo, la elección depende de las especificaciones exactas del sistema y de las necesidades del usuario [26]. A continuación, se muestra una tabla con las características fundamentales de la CPU-224:

Tabla 5. Características de la CPU 224

| Función | CPU 224 |
|--|------------------------------|
| Dimensiones físicas (mm) | 120,5 x 80 x 62 |
| Memoria del programa. Con edición en runtime | 8192 bytes |
| Sin edición en runtime | 12288 bytes |
| Memoria de datos | 8192 bytes |
| Memoria de backup | 100 horas (tip.) |
| E/S integradas | 14 E/10 S |
| Digitales | |
| Analógicas | |
| Módulos de ampliación | 7 módulos |
| Contadores rápidos | 6 a 30 kHz |
| Fase simple | 4 a 20 kHz |
| Dos fases | |
| Salidas de impulsos (DC) | 2 a 20 kHz |
| Potenciómetros analógicos | 2 |
| Reloj de tiempo real | Incorporado |
| Puertos de comunicación | 1 RS-485 |
| Aritmética en coma flotante | Sí |
| Tamaño de la imagen de E/S digitales | 256(128E/128S) |
| Velocidad de ejecución booleana | 0.22 microsegundos/operación |

Modulo de entradas analógicas Siplus EM231

El EM231 es un módulo de 4 entradas analógicas de 12 bits rápido y económico (ver figura 17). Dicho módulo puede convertir una entrada analógica en su correspondiente valor digital en 171 μ s para la CPU 212 y en 139 μ s para las demás CPUs S7-200. La conversión de la señal analógica se efectúa cada vez que el programa de usuario accede a la entrada analógica. Los tiempos mencionados se deben agregar al tiempo de ejecución básico de la operación utilizada para acceder a la entrada analógica [27].



Figura 17. Módulo de entradas analógicas Siplus EM 231

Datos técnicos EM 231

- Consumo de corriente de la tensión de carga L+ (sin carga), máx: 60mA
- Pérdidas: 2W.
- Números de entradas analógicas: 4.
- Longitud del cable apantallado, máx: 100 m; para el sensor 100 m.
- Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx:30 V.
- Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción). Máx: 32 mA.
- Rangos de entrada (valores nominales), tensiones

- 0 a +5 V
- 0 a +10 V
- 2,5 V a +2,5 V
- 5 V a +5 V
- Rangos de entrada (valores nominales), intensidades: 0 a 20 mA.

Módulo de salida analógica Siplus EM 232(ver Figura 18)

Datos Tecnicos:

- Consumo de corriente de bus de fondo 5 V DC, máx. 20 mA
- Alimentación de sensores o de alimentación externa (24 V DC), máx. 70 mA
- Pérdidas Pérdidas, típ. 2W
- Salidas analógicas 2 Rangos de salida,
- tensión • -10 a +10 V Rangos de salida,
- intensidad • 4 a 20 mA.
- Resistencia de carga (en rango nominal de la salida)
 - con salidas de tensión, mín. 5k Ω .
 - con salidas de intensidad, máx. 0,5 k Ω .
- Resolución (incl. rango de rebase) U/12 bits, I/11 bits U/12 bits, I/11 bits
- Tiempo de estabilización
 - Para salida de tensión 100 μ s.
 - Para salida de intensidad 2 ms
- Rango de valores convertidos representable
 - Señales bipolares -32000 a +32000.
 - Señales unipolares 0 a 32000.



Figura 18. Módulo de salidas analógicas Siplus EM 232

2.3. Arquitectura del Sistema propuesto

En el quemador horizontal la jerarquía de comunicaciones es útil ya que la red está estructurada como se muestra en la figura 19 y el desarrollo de sus actividades está valorado por varios niveles en este caso mostramos dos niveles:

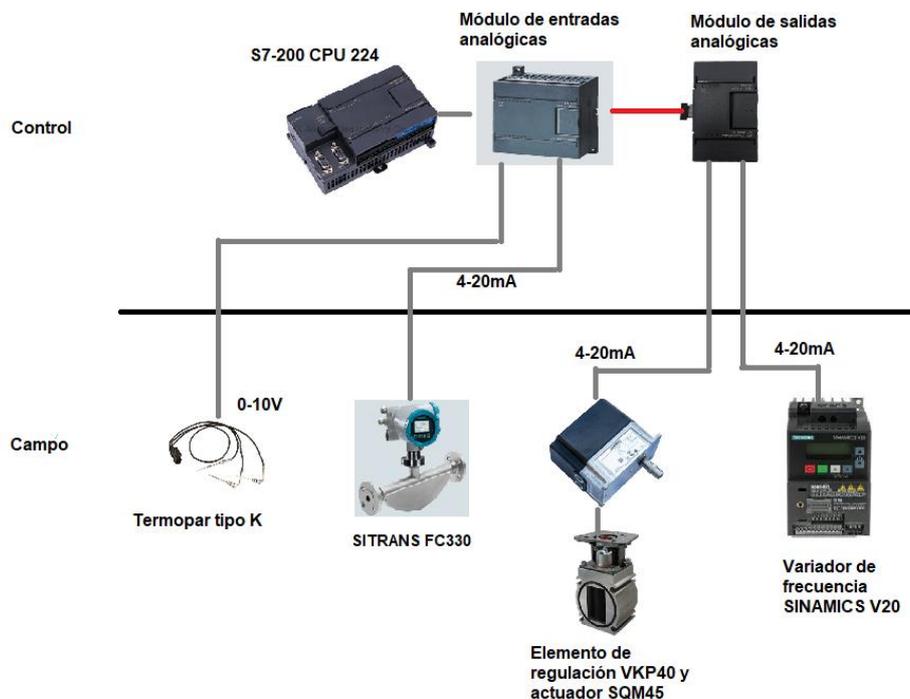


Figura 19. Arquitectura de control

El Nivel de campo:

El nivel de campo comprende los sensores y actuadores que son requeridos para la interacción con el proceso del quemador horizontal.

Sensores:

- Termopar tipo K EXACTSENSE para la medición de temperatura en el interior de la cazuela.
- SITRANS FC330 para la medición de flujo de fueloil.

Actuadores:

- Elemento de regulación VKP40 con actuador SQM45, encargados de regular el flujo de combustible.
- Variador de frecuencia SINAMICS V20, regula la velocidad del motor eléctrico para el tiro de aire.

Nivel de control:

Al nivel de control llegan las señales provenientes de los sensores ubicados en el campo, las cuales son procesadas para posteriormente generar comandos a los actuadores. Los componentes usuales en este nivel son: Controlador Lógico Programable (PLC, siglas en ingles), los sistemas de control de procesos (PCS, siglas en ingles), y sistemas de control distribuido (DCS, siglas en ingles).

- S7-200 con CPU 224.
- Módulos de E/S analógicos Siplus EM231 y Siplus EM 232 respectivamente.

.

Esquemas Eléctricos

Para el diseño del esquema eléctrico se utilizó el Software WinRelay, y se hicieron las conexiones correspondientes, en la figura 20 se muestra el esquema general de las conexiones eléctricas partiendo de la alimentación de energía trifásica se utilizó:

- PLC S7-200 con la CPU 224(ver figura 21).
- Módulos de E/S analógicos Siplus EM231 y EM232 respectivamente.
- Variador de Frecuencia SINAMICS V20 conectado al motor con sus respectivas protecciones, contactor electromagnético y breaker. (ver figura 22).

- Se utilizan 4 pulsadores (encendido, apagado, modo manual, paro de emergencia).
- Se utilizan 4 pilotos indicadores que muestran el transcurso del proceso de calentamiento.
- Un termopar tipo K y un caudalímetro de Coriolis como entradas analógicas del proceso.
- Una válvula de regulación y el variador de frecuencia como salidas del módulo Siplus EM232.I

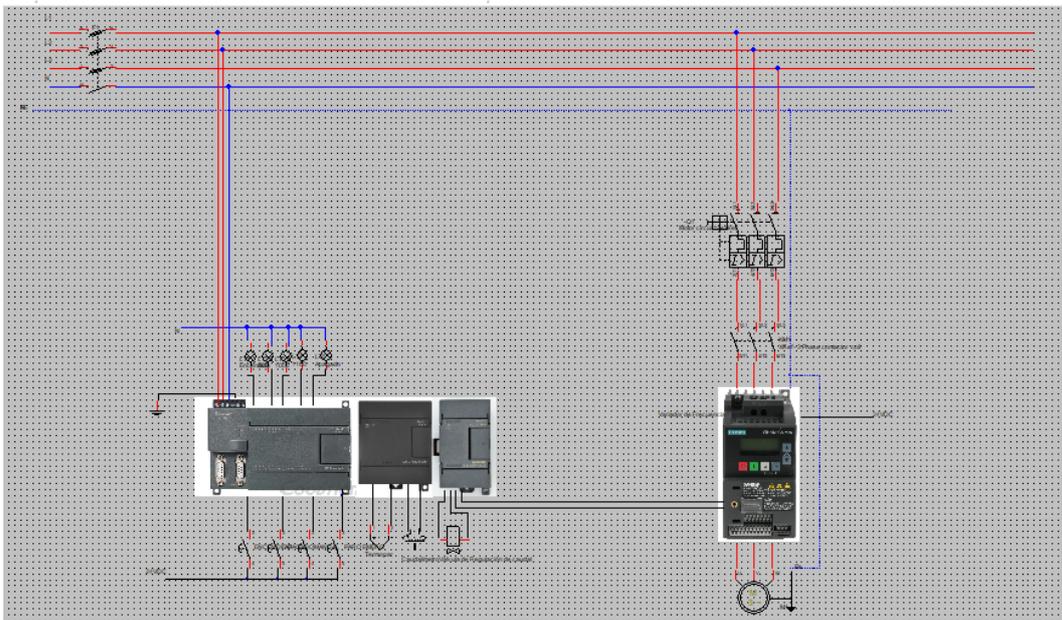


Figura 20. Circuito general

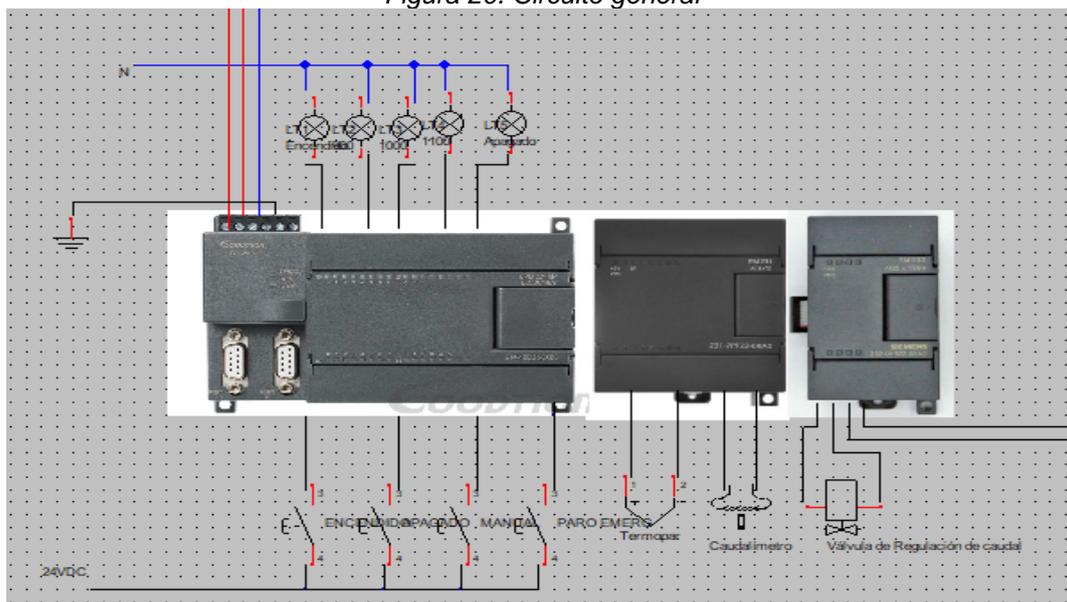


Figura 21. Conexiones del PLC S7-200 CPU 224 y sus módulos.

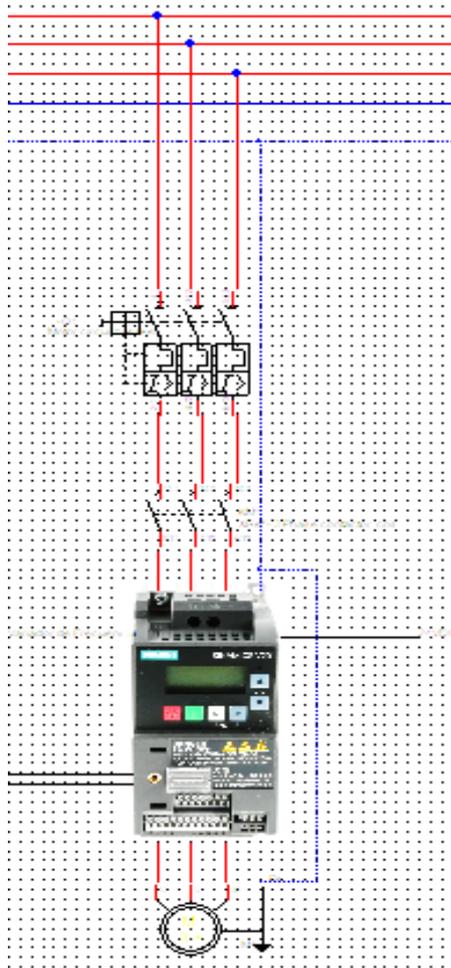


Figura 22. Variador de frecuencia conectado al motor eléctrico con sus respectivas protecciones.

2.4. Propuesta de Software de programación STEP 7--Micro/WIN

El paquete de programación STEP 7--Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación. STEP 7--Micro/WIN provee tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control. Para encontrar fácilmente la información necesaria, STEP 7--Micro/WIN ofrece una completa Ayuda en pantalla y un CD de documentación que incluye una versión electrónica del presente manual, ejemplos de aplicación y otras informaciones de gran utilidad.

Requisitos del sistema STEP 7--Micro/WIN se puede ejecutar en un ordenador (PC), o bien en una programadora de Siemens (p. ej. en una PG 760). El PC o la PG debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 2000, Windows XP, Vista.

- 350 Mbytes libres en el disco duro (como mínimo) .
- Ratón (recomendado).

Las ventanas principales del software Step 7 MicroWin de Siemens son las siguientes:

1. Ventana de proyecto: Esta ventana muestra la estructura del proyecto y permite crear, editar y eliminar bloques de programa, bloques de datos y otros elementos del proyecto.
2. Ventana de edición de bloques: Esta ventana permite editar el código fuente de los bloques de programa y de datos.
3. Ventana de configuración de hardware: Esta ventana permite configurar los dispositivos de hardware que se utilizarán en el proyecto, como los módulos de entrada/salida, los sensores y los actuadores.
4. Ventana de monitorización: Esta ventana permite monitorizar el estado de los dispositivos de hardware y los valores de las variables en tiempo real.
5. Ventana de depuración: Esta ventana permite depurar el código fuente del programa y detectar errores y fallos en la lógica del programa.

En la figura 23 se muestra la ventana principal de Step 7 MicroWin:

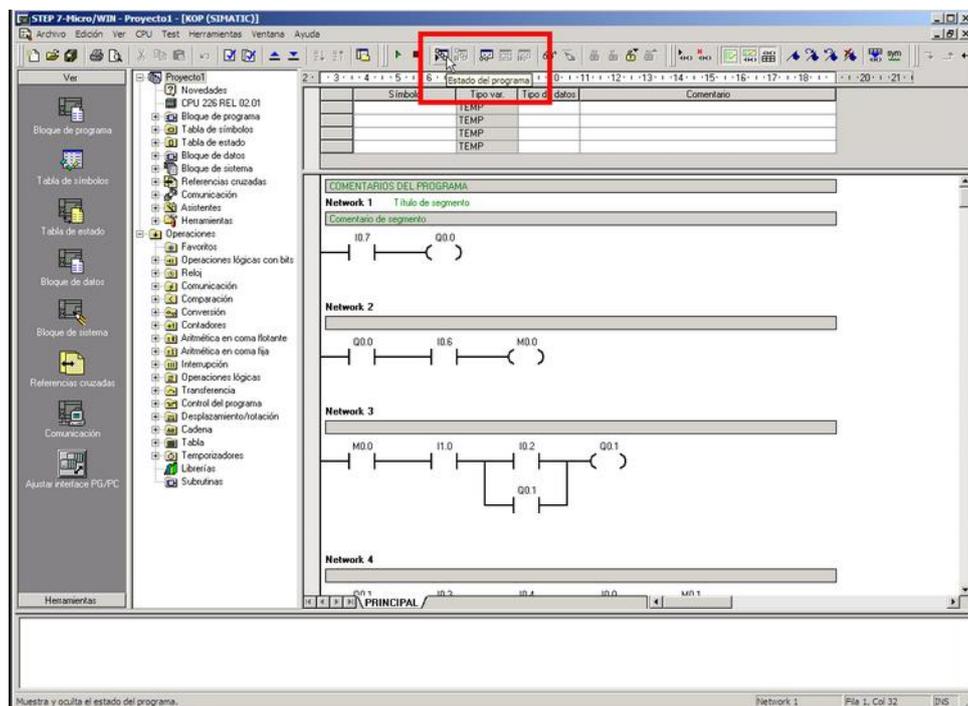


Figura 23. Ventana principal de STEP 7 MicroWin.

2.5. Sistema de Control propuesto:

Para el control de la temperatura en el interior del QH es necesario regular el flujo de combustible y aire en la recámara. Su objetivo es adecuar la temperatura requerida con la más alta eficiencia en la combustión. Esto generalmente se efectúa regulando la cantidad de combustible entregada y asegurando que el correspondiente flujo de aire sea el suficiente para completar la combustión, pero no tan excedido para evitar la pérdida de calor en los gases.

De acuerdo con los requerimientos de la norma NFPA 8502, un sistema de control de combustión debe cumplir, entre otros, con los siguientes requisitos de diseño [29]:

- El control de combustión debe mantener la relación aire-combustible en un rango que asegure una combustión continua y una llama estable en todas las condiciones de operación.
- La demanda de combustible no debe incrementar nunca el caudal de combustible por encima del de aire.
- Bajo estas premisas, los objetivos principales del control de combustión son los siguientes:
- Mantener los caudales de aire y combustible de acuerdo con la demanda de carga de la caldera, para entregar al sistema la energía requerida para el suministro del caudal de vapor deseado, manteniendo el equilibrio energético.
- Mantener una relación entre los caudales de aire y combustible que asegure que existe oxígeno suficiente para que la combustión se produzca de forma completa y segura.
- Mantener, dentro de los requisitos del punto anterior, un exceso de aire mínimo que permita conseguir los mayores niveles de eficacia posibles.
- Existen varios diseños posibles para el control de la combustión, en gran parte debido a la gran variedad de combustibles que se pueden utilizar en los quemadores, cuyo suministro al quemador se hace mediante válvulas que se encuentran instaladas en el área.

En la figura 24 se puede apreciar que los circuitos de control de combustión se clasifica en dos tiempos:

1. Sistemas de control en Serie(1 y 2).
2. Sistemas de control en Paralelo(3).

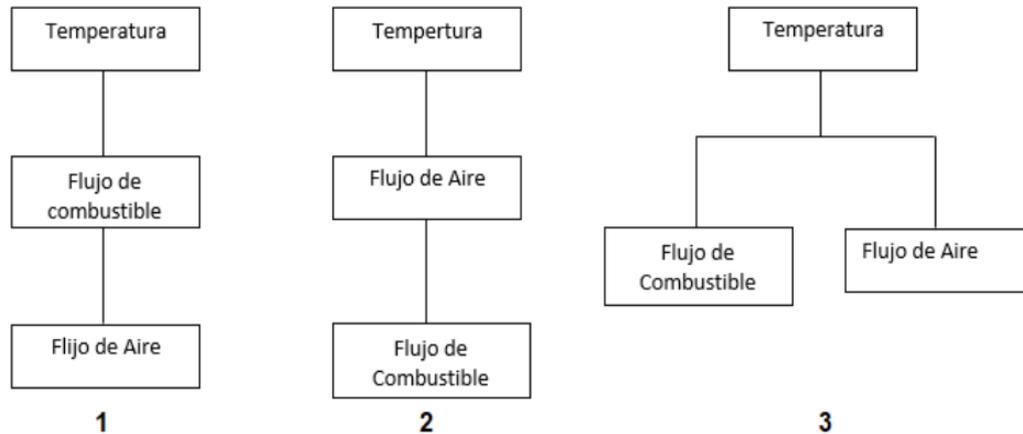


Figura 24. Circuitos control de combustión.

Caso 1

- La señal inicial corresponde a la presión de vapor que controla el flujo de combustible requerido para mantener constante la presión de vapor.
- Se mide el caudal de combustible y de acuerdo con este, se genera una señal que es transmitida al controlador de flujo de aire y afecta el mismo de acuerdo con la señal de flujo de combustible, cualquier fallo del flujo de combustible limitará el flujo de aire.
- Cuando el suministro de combustible es pequeño, este esquema elimina la posibilidad de manejar grandes excesos de aire durante un periodo largo.

Caso 2

- Similar al primero excepto que se intercambian en secuencia el flujo de aire y combustible.
- Cualquier cambio en el flujo de aire crea una disminución automática del flujo de combustible hasta el valor equivalente.

- Elimina la posibilidad de formación de una mezcla explosiva en el hogar cuando falla la alimentación de aire y se elimina la necesidad de interrumpir el flujo de combustible.

Caso 3

- La señal inicial (la presión de vapor) es transmitida en paralelo a los controladores del alimentado de combustible y flujo de aire, que actúan para los ajustes correspondientes.
- Los controladores del alimentado de combustible y flujo de aire, son calibrados de modo que en concordancia con la señal principal, se alimenta la cantidad adecuada de combustible y aire para mantener la presión y la relación combustible-aire.

En el caso del Quemador Horizontal de Cazuela se utiliza el Caso 3, la señal inicial (temperatura) es transmitida en paralelo a los controladores de alimentado de combustible y flujo de aire, que actúan para los ajustes correspondientes, teniendo una ventaja que se analizan dos señales para el control en vez de una.

Una combustión incompleta, no solo resulta en una operación ineficiente del quemador, sino que también conspira contra el medio ambiente, la salud humana, la fauna, etc.; por lo que la cantidad de exceso de aire depende del tipo de combustible utilizado, su composición y del equipamiento.

Por otra parte, a mayor exceso de aire, mayores resultaran las pérdidas en los gases secos y las pérdidas por humedad del aire. Luego hay que buscar un compromiso y suministrar exactamente el aire en exceso que garantiza una máxima eficiencia del quemador. He ahí la importancia del control de la combustión de manera efectiva y segura [28].

Por lo descrito anteriormente se propone un control con limitación cruzada o control por relación que garantiza que cuando haya que incrementar combustible ello no ocurra hasta que no haya prudencialmente un incremento del aire(ver figura 25).

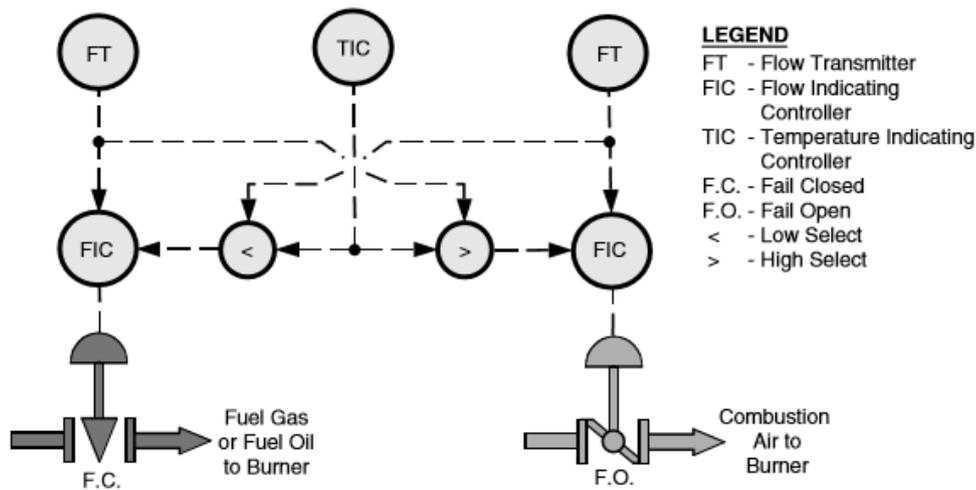


Figura 25. Esquema de la combustión propuesto.

El desarrollo de un esquema de control totalmente medido para modular el combustible y el aire hacia un quemador comienza con el esquema de posicionamiento paralelo vinculado electrónicamente como se muestra anteriormente en la figura, agrega medidores de flujo y controladores de flujo. Los medidores de flujo son lineales con el caudal. La escala de la señal de salida del medidor proporciona la velocidad de disparo y relación aire/combustible requerida para la aplicación.

En la ilustración, la salida TIC del controlador de temperatura establece la velocidad de disparo sirviendo como punto de ajuste a cada controlador de flujo. Inversión de señal, mostrada como $(1 - \text{valor del parámetro})$ en el esquema de posicionamiento paralelo, no es requerido. En cambio, el modo de salida del controlador está configurado para coincidir con el modo de falla de la válvula.

El modo de salida del controlador, de acción directa o inversa, define el cambio en la dirección de la señal de salida con respecto a los cambios de variables de proceso. Por ejemplo, si la salida del controlador aumenta a medida que cuando la variable del proceso aumenta, el modo del controlador es de acción directa. En los esquemas de control de la combustión.

Las válvulas de combustible que fallan en cierre requieren un controlador de flujo de acción inversa, mientras que las válvulas de aire de combustión que fallan en

apertura requieren un controlador de flujo de acción inversa requieren controladores de flujo de acción directa. A partir de las definiciones del modo del controlador, queda claro que el controlador de temperatura TIC debe ser de acción inversa. Es decir, la producción de TIC debería disminuir, reduciéndola velocidad de disparo, en respuesta a un aumento de temperatura, la variable del proceso.

La adición de selectores de señal alta y baja proporciona una limitación cruzada del control totalmente medido esquema como se muestra en la figura anterior. El selector de señal baja (<) compara la velocidad de disparo demandada por el TIC al caudal de aire de combustión real y aplica la menor de las dos señales como punto de ajuste al controlador de flujo de combustible. El selector de señal baja garantiza que el punto de ajuste de combustible no pueda exceder la cantidad de aire disponible para la combustión.

El selector de señal alta compara la velocidad de disparo demandada del TIC con el caudal de combustible real y aplica la mayor de las dos señales como punto de ajuste al controlador de flujo de aire. Este garantiza que el punto de ajuste de aire nunca sea inferior al requerido para la combustión del caudal de combustible real. Juntos, los selectores de señal alta y baja garantizan que no se produzca combustible sin quemar en el sistema de combustión. Las acumulaciones de combustible no quemado pueden provocar explosiones. Limitación cruzada por la señal. Los selectores hacen que el flujo de aire avance el flujo de combustible durante los aumentos de carga y el flujo de aire retrasa el flujo de combustible durante los aumentos de carga el combustible disminuye. Esta acción de adelanto-retraso explica por qué el sistema de control de limitación cruzada totalmente medido es

a menudo llamado control “adelante-retraso”. Cualquiera que sea el nombre, el sistema cumple la función de mantener la mezcla deseada de aire/combustible durante los cambios de carga. El sistema también proporciona una reducción del caudal de combustible en caso de que se pierda o disminuya el flujo de aire [22].

Descripción del dispositivo

En la figura 26 se observa que el equipo está compuesto en síntesis por dos partes fundamentales: la tapa y el soporte.



Figura 26. Estructura externa del Quemador Horizontal.

1. La tapa está construida en base a un fondo tipo Klopper de 3.000mm de diámetro al que se le han adaptado una brida para la conexión del quemador. Está instalada sobre un soporte de acero móvil que se desplaza a través de dos railes. Para la protección a la salida de los gases de sobrecalentamientos, la superficie interior va recubierta de fibra de cerámica de 1460°C de temperatura de trabajo montada en stack-bond, excepto la zona del quemador que es de hormigón refractario.
2. Soporte metálico de alta resistencia con la forma de la cazuela, hecho para soportar el peso de la misma de forma horizontal.

La sonda de medición de temperatura se instalará a la salida de la llama del quemador. El equipo de combustión está compuesto por un quemador de mezcla en cabeza y llama radiante, tipo IG-2500 con una potencia máxima de 2.500.000 kcal/h que se limita a 1.800.000 kcal/h por el tamaño de la cuchara.

El rango de regulación de potencias que se establece para el equipo de combustión es de 5:1. Actualmente el encendido del quemador piloto se realiza desde el selector correspondiente situado en el cuadro eléctrico, llegándole a la bujía de encendido una tensión de 5000V procedente del transformador de encendido, produciéndose la ignición de la mezcla fuel oil-aire que circula a través del quemador piloto. Para proceder al encendido del quemador principal

se actúa seguidamente sobre el selector correspondiente situado en el cuadro eléctrico.

2.6. Algoritmo de Trabajo. GRAFCET de la propuesta

Teniendo en cuenta las particularidades del proceso de calentamiento y para facilitar la realización de la programación, el diagrama GRAFCET fue descrito con las siguientes etapas y transiciones(Ver figura 27):

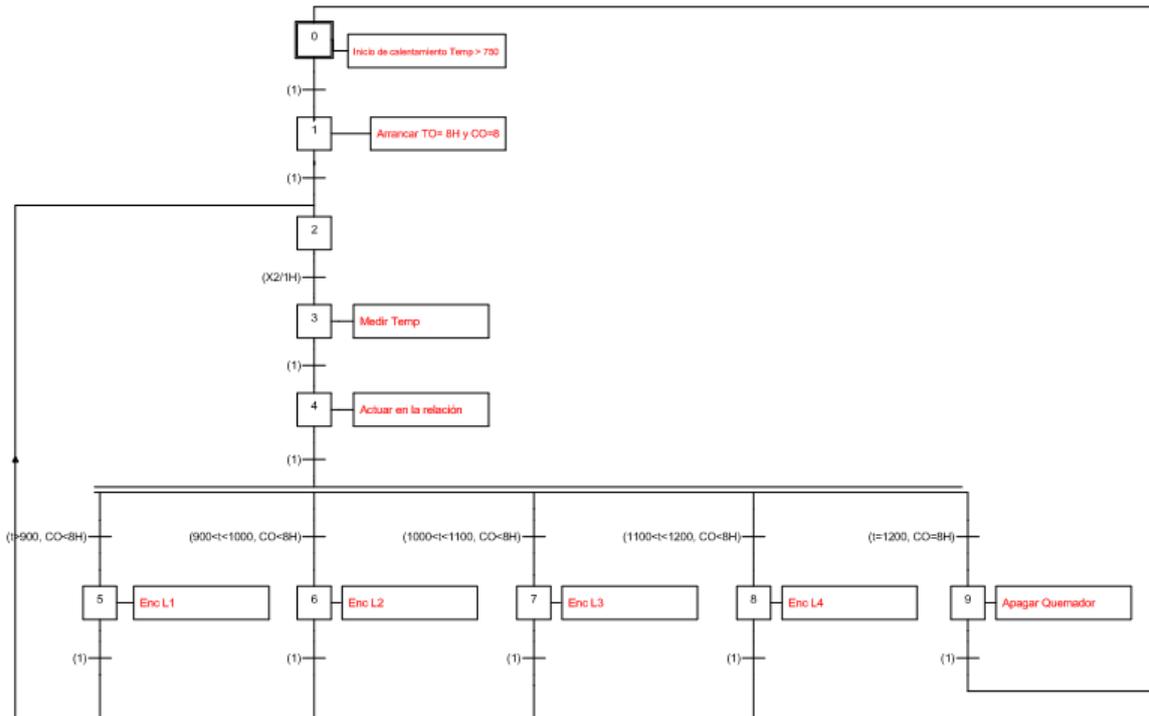


Figura 27. GRAFCET de las secuencias de trabajo de la propuesta

Para que inicie el proceso de calentamiento el refractario de la cazuela debe de tener una temperatura mayor o igual a 750°C, luego pasa a la siguiente etapa donde se arranca un temporizador de 8H que es el tiempo necesario que requiere la cazuela para se llevada hasta 1200°C, el muestreo de la temperatura se toma en un tiempo de una hora aproximadamente, según la temperatura existente se actúa en la relación estequiométrica de aire/ combustible y se comienza a calentar la cazuela con diferentes intervalos de temperatura según el tiempo requerido en las diferentes etapas, una vez cumplidas las 8h de calentamiento y la temperatura requerida de 1200°C, termina el proceso.

2.7. Valoración Económica

El costo económico que tendrá la propuesta incluye los aspectos relacionados con el material a utilizar, valorado en los **282.482,53 CUP** (ver tabla 6). En cuanto al personal calificado que participa en todo el proceso de solución se estima un costo aproximado a los **75.180,00 CUP** (ver tabla 7), en un tiempo estimado de trabajo de 3 meses, que junto al precio material y separando el 10% que se destina para mantenimientos, suman un costo total de **425.955.04 CUP** (ver tabla 8). Para costos en inversiones, la empresa dedica anualmente **300.000,00 CUP**, por lo que se recuperaría dicha inversión en 1 año y 4 meses, ello gracias a que se ofrece una solución de bajo costo (ver tabla 9).

Tabla 6. Materiales y costos

| No | Descripción | Cant. | Precio (€) | Importe (€) |
|--------------------------------------|--|-------|------------|-------------------|
| 1 | Termopar tipo k EXACTSENSE® de Watlow | 1 | 85,00 | 85,00 |
| 2 | Caudalímetro de efecto Coriolis SITRANS FC330 | 1 | 219,99 | 219,99 |
| 3 | Elemento de regulación proporcional VKP40 de Siemens | 1 | 189,00 | 189,00 |
| 4 | Actuador SQM45 | 1 | 940,37 | 940,37 |
| 5 | Variador de frecuencia SINAMICS V20 | 1 | 393,15 | 393,15 |
| 6 | Controlador Siemens SIMATIC S7-200 224 CPU | 1 | 169,00 | 169,00 |
| 7 | Modulo de entradas análogicas Siplus EM231 | 1 | 31,14 | 31,14 |
| 8 | Módulo de salida analógica Siplus EM 232 | 1 | 51,48 | 51,48 |
| Costo total de material (CUP) | | | | 282.482,53 |

Tabla 7. Mano de obra

| Descripción | Cantidad | Salario/ 3 mes | Importe (CUP) |
|--|----------|----------------|------------------|
| Ingeniero en Automática | 1 | 10.500,00 | 10.500,00 |
| Ingeniero Eléctrico | 1 | 10.500,00 | 10.500,00 |
| Técnicos en Instrumentación y Control | 3 | 9.600,00 | 28.800,00 |
| Otros Recursos Humanos | 1 | 22.680,00 | 22.680,00 |
| Costo total de Mano de obra (CUP) | | | 72.480,00 |

Nota: La propuesta se instalará en tres meses por lo que el gasto de mano de obra total asciende a: **72.480,00 CUP**

Tabla 8. Costo total de la propuesta.

| No | Descripción | Importe (CUP) |
|----|--|-------------------|
| 1 | Costo Material | 282.482,53 |
| 2 | Costo Mano de Obra | 72.480,00 |
| 3 | Costo Total (1 + 2) | 354.962.53 |
| 4 | Margen de Ganancia (10-20 % del costo Total) | 70.992,51 |
| | Costo Total de la Propuesta (3+4) | 425.955.04 |

Tabla 9. Tiempo de recuperación de la inversión

| | |
|--|-------------------|
| Costo Total de la Propuesta (CUP) | 425.955.04 |
| Presupuesto de la Empresa | 300.000,00 |
| Tiempo en que se recupera la inversión (años) | 1.42 |

La implementación de la propuesta es factible, porque la inversión se recupera en **1.42** años (menos de 5 años)

2.8. Impacto Medioambiental

La implementación de la propuesta de automatización presentada impacta positivamente en el aspecto medioambiental, esto debido, a que contribuye sustancialmente al ahorro en el consumo de energía, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero, es decir, por cada MW-h ahorrado se deja de emitir 0,85 toneladas de CO₂ de combustible a la atmósfera. También debe señalarse que se obtendría una gran repercusión en el aspecto social, porque protege al hombre y a los recursos materiales de posibles explosiones, al tener un mayor control de las variables presentes en el proceso, además de que humaniza el trabajo del operador, preserva el entorno y aumenta la calidad en el proceso de fundición de acero.

Conclusiones Parciales.

En este capítulo se propuso la instrumentación correspondiente al proceso de calentamiento en el quemador horizontal de cazuela de Horno Cuchara y se analizaron las características de cada uno de los sensores, actuadores y controladores. Se realizó el modelaje del sistema Grafset, el algoritmo de trabajo, valoración económica de la propuesta y su impacto medioambiental

CONCLUSIONES GENERALES.

Una vez concluida la investigación se concluye:

1. Se analizaron los diferentes aspectos teóricos necesarios para la implementación de la misma, así como las principales características de los diferentes sensores y actuadores utilizados en la misma.
2. Se desarrolló la propuesta para el proceso de calentamiento de la cazuela de Horno Cuchara.
3. Se diseñó el algoritmo de trabajo a partir de la propuesta y del principio de funcionamiento del proceso de calentamiento.
4. Se evidencio que, aunque la implementación del proyecto es costosa, el mismo es factible realizarlo porque los costos de inversión serían amortizados en un periodo de 1.4 años, y están relacionados fundamentalmente con la reducción del consumo de energía, aumento de la productividad y eficiencia del proceso; y con la mejora de la calidad del trabajo.

RECOMENDACIONES.

Al finalizar la investigación se tiene las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda modelar matemáticamente el sistema térmico presente en la cazuela del Horno Cuchara en el quemador horizontal.
- Implementar la propuesta de automatización realizada.
- Diseñar un sistema de Supervisión y control para optimizar el trabajo y mejorar la productividad.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] A. C. Solé, «Instrumentación Industrial,» de *Instrumentación Industrial*, Barcelona, España, MARCOMBO, S.A., 2010, pp. 1, 2.
- [2] M. R. M. a. B. L. R. T. G. González Yero, «"Modelado de Control de Nivel en Molde para Vaciado Continuo de Palanquillas de Acero",» *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 11, nº 1, pp. 44-53, 2014.
- [3] S. H. a. F. T. J. Madias, «"Una Revisión crítica de desarrollos tecnológicos recientes en Hornos Eléctricos de Arco",» *ResearchGate*, pp. 343-353, 2016.
- [4] ". S. Y. W.S. Association, Beijing, China, 2021.
- [5] E. I. Castellanos, SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN, Santa Clara, Villa Clara, Cuba: Samuel Feijóo, 2012.
- [6] [En línea]. Available: <https://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>.
- [7] [En línea]. Available: <https://www.watlow.com/es-es/blog/posts/benefits-of-cascade-control>.
- [8] [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/como-funciona-una-estrategia-de-control-en-cascada-definiciones-y-ejemplos/>.
- [9] [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/control-de-relacion-que-es-y-como-aplicarlo-ejemplos/>.
- [10] [En línea]. Available: https://members.tripod.com/jesus_alfonso_lopez/CIArchivos.html.
- [11] [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242018000200157&script=sci_arttext.
- [12] A. C. Solé, Instrumentación Industrial, Barcelona, España: MARCOMBO, S.A, 2010.
- [13] J. A. Sánchez, CONTROL AVANZADO DE PROCESOS(Teoría y Práctica), Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A, 2003.
- [14] J. B. y. Romeral, Autómatas Programables, Marcombo, 1997.

- [15] I. V. G. Carreras, «Diseño e implementación de un Sistema de Automatización para la planta de soja de la Empresa de Productos Lácteos Las Tunas,» 2018.
- [16] [En línea]. Available: <https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>.
- [17] [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/ErnestoR77/introduccion-redes-industriales>.
- [18] I. M. Méndez, «Diseño de un Sistema de Control para los procesos de Limpia, Preparación y ensacado de la Planta Beneficiadora de soja en la fábrica de Cereales Frank País "La Molinera",» 2017.
- [19] [En línea]. Available: <https://culturacion.com/topologia-de-red-malla-estrella-arbol-bus-y-anillo/>.
- [20] [En línea]. Available: <https://axessnet.com/topologias-de-red/>.
- [21] I. A. M. García, «SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE INDICADORES DEL TALLER DE CAZUELAS Y DE UTILIZACION DE LOS MATERIALES,» La Habana, 2001-2002.
- [22] J. Charles E. Baukal, INDUSTRIAL BURNERS, New York, 2003.
- [23] WATLOW, 2023. [En línea]. Available: <https://www.watlow.com/Products/Sensors/Temperature-Sensors/Mineral-Insulated-Thermocouples>. [Último acceso: noviembre 2023].
- [24] Siemens, «Siemens,» 2021. [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/flow-measurement/electromagnetic.html>. [Último acceso: 1 noviembre 2023].
- [25] I. Siemens Industry, «SINAMICS V20,» pp. 3, 10.
- [26] Siemens, Manual del sistema de automatización S7-200, 2008.
- [27] [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/582/1109582/att_22063/v1/s7200_system_manual_en-US.pdf.
- [28] Siemens, «Siemens,» 2021. [En línea]. Available: www.siemens.com/simatic/printmaterial .
- [29] A. G. Duboy, «Proyecto de Automatización de Tres Calderas de Generación de Vapor en la Refinería Hermanos Díaz.,» Santiago de Cuba, 2016.

- [30] A. B. C. Carlos A. Smith, CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS. Teoría y Práctica, NORIEGA , 1991.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de datos del sensor de temperatura termopar tipo K

Thermocouples
CAPABILITY

EXACTSENSE

Specifications

Sensor Type

- Mineral insulated thermocouple

Output Options

- Analog 0 – 5V ratiometric analog voltage signal (FAVS)
- Analog 0 – 5V non-ratiometric analog voltage signal (AVS)
- LIN 2.1 or 1.3 compatible
- CAN J1939

Analog Supply Voltage (Vs1)

- 5V ± 0.25VDC

LIN Supply Voltage (Vs2)

- 9 to 17VDC

CAN Supply Voltage

- 6 to 16VDC

LIN Output Communication Speed

- 9600, 19200 baud rate
- LIN 2.1 or 1.3 compatible

CAN Output Communication Speed

- 250,000, 500,000 baud rate

Operating Temperature Range of Sensor

- 40 to 1382°F (-40 to 750°C) (stainless)
- 40 to 1832°F (-40 to 1000°C) (alloy 600)
- 40 to 2012°F (-40 to 1100°C) (Haynes® 230)

Analog Accuracy with Electronics

- ±18°F (±10°C) from -40 to 932°F (-40 to 500°C)
- ±22.5°F (±12.5°C) from 932 to 1832°F (500 to 1000°C)

LIN Accuracy with Electronics

- ±14.4°F (±8°C) from -40 to 2012°F (-40 to 1100°C)

CAN Accuracy with Electronics

- ±12.6°F (±7°C) from -40 to 1112°F (-40 to 600°C)

Response Time (T63) 0.08 in. (2.1 mm) Tip

- ~3 seconds in air moving at 70 meters/second

Response Time (T63) 0.16 in. (4.0 mm) Tip

- ~7 seconds in air moving at 70 meters/second

Immersion Depth (A Dimension)

- 0.98 to 7.87 in. (25 to 200 mm)

Operating Temperature Range of Electronics and Connector

- 40 to 248°F (-40 to 120°C)

Operating Temperature Range of Sensor to Wire Interface

- 40 to 392°F (-40 to 200°C)

Materials and Mounting

Sheath Materials

- 316 SS, alloy 600 or Haynes® 230

Mounting Fittings

- M12x1.5-6g, M14x1.5-6g and M16x1.5-6g, 400 SS

Lead Wire

- 0.96 mm² (18 AWG - 19 strands of 30 AWG) stranded wire with Tefzel® insulation

Protective Sleeve

- 392°F (200°C) silicone coated fiberglass sleeve (optional)

Connector

- Tyco Electronics 776488-1 (AMPSEAL 16 SERIES) with 2 rows of 2 gold plated pins
- Mating connector: Tyco plug 776487-1, Tyco S&F gold plated socket 776492-1, Tyco plug seal 776363-1

Thermocouples
EXTENDED CAPABILITY

EXACTSENSE

Dimensional Drawings

Bent Probe (90°)

Straight Probe

Assembly (Shown with Three Inputs)

Electronic Housing

Anexo 2. Hoja de datos del sensor de flujo SITRANS FC 330

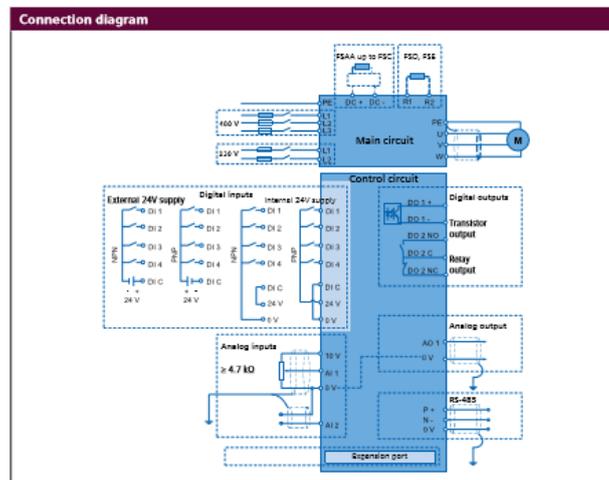
| Datos técnicos | |
|---|---|
| Tamaños | DN 15 (½") DN 25 (1") DN 50 (2") DN 80 (3") DN 100 (4") DN 150 (6") |
| Exactitud | ± 0,10 % o 0,20 % con líquidos ±0,40 adicional con gases |
| Repetibilidad | ± 0,05 % |
| Rango de caudal (líquidos) (agua con pérdida de presión de 1 bar) (Q _{nom}) | |
| • DN 15 | 4 500 kg/h (163.3 lb/min) |
| • DN 25 | 20 500 kg/h (753.2 lb/min) |
| • DN 50 | 49 000 kg/h (1 800 lb/min) |
| • DN 80 | 122 000 kg/h (4 483 lb/min) |
| • DN 100 | 273 000 kg (10 031 lb/min) |
| • DN 150 | 459 200 kg/h (16 873 lb/min) |
| Arquitectura | Configuración compacta o separada |
| Indicador | Indicador gráfico completo de 240 x 160 píxeles con 6 idiomas seleccionables |
| Alimentación eléctrica | 20 ... 90 V DC ± 10 %; 100 ... 240 V AC ± 10 %, 47 ... 63 Hz ± 10 % |
| Material | |
| • Sensor | |
| - Piezas en contacto con el fluido | Acero inoxidable 316L o aleación de níquel C4 |
| - Carcasa | Acero inoxidable 304 |
| • Transmisor | Aluminio con revestimiento resistente a la corrosión clase C4 |
| Clasificación de la carcasa | IP67 ¹⁾ |
| Presiones nominales | |
| • Tubos de medida | |
| - 316L | 100 bar (1 450 psi) |
| - Aleación de níquel C4 | 100 bar (1 450 psi) |
| • Carcasa del sensor | Sin contención de presión |
| Temperaturas nominales | |
| • Medio de proceso | -50 ... +205 °C (-58 ... +400 °F) |
| • Ambiente | -40 ... +60 °C (-40 ... +140 °F) ¹⁾ |
| • Indicador | -20 ... +60 °C (-4 ... +140 °F) |
| Conexiones a proceso | |
| • Bridas | EN 1092-1 B1, EN 1092-1 B2, EN 1092-1 D, ANSI/ASME B16.5, JIS B 2220 |
| • Roscas de tubo | Rosca de tubo hembra ASME B1.20 (NPT), rosca de tubo hembra ISO 228-1 G (BSPP) |
| • Conexiones roscadas higiénicas | DIN 11851, SMS 1145 |
| • Abrazaderas higiénicas | DIN 32676 (ISO) fila A |
| Aprobaciones | |
| • Zona peligrosa (zona 1) | ATEX, IECEx, EAC Ex, CSA, cCSAus, NEPSI, EAC |
| • Equipos a presión | Sin aprobación para polvo DEP, CRN |
| • Higiene | EHDG (DN 25 ... DN 80) (en preparación) |
| • Instalaciones marítimas (en preparación para FC330 compacto) | Germanischer Lloyd/det Norske Veritas, Bureau Veritas, Lloyds of London, American Bureau of Shipping, RINA (Italia) |
| NAMUR | Conforme a NAMUR (p. ej., NE 21, NE 41, NE 107 y NE 132) |
| E/S | Hasta 4 canales que combinan salidas analógicas, digitales o de relé y entrada binaria |
| Comunicación | HART PROFIBUS PA PROFIBUS DP Modbus RTU (RS 485) |
| Compatibilidad electromagnética | |
| Emisión de perturbaciones | EN 55011/CISPR-11 (Clase A) |
| Inmunidad a interferencias | EN/IEC 61326-1 (industria) |
| Carga mecánica | 18 ... 400 Hz aleatoria |
| | El caudalímetro tolera mecánicamente 3,17 g RMS en todas las direcciones. No se puede garantizar la exactitud de caudal en cualquier condición. |

¹⁾ Si se va a utilizar en exteriores, evitar la luz solar directa, especialmente en zonas de clima cálido.

Anexo 3. Hoja de datos del VARIADOR DE FRECUENCIA SINAMIC V12

| Standards | |
|---|---|
| Standards | CE, cULus, RCM, KC |
| EMC standards, radiated emissions and disturbance voltage (conducted emissions and radiated emissions when installed according to EMC requirements) | <p>EN61800-3 category C1, 1st environment (residential):</p> <ul style="list-style-type: none"> 1AC 230V 0.12 to 0.75 kW with integrated EMC filter, or unfiltered with external line filter, shielded cables ≤ 5 m <p>EN61800-3 category C2, 1st environment (domestic premises):</p> <ul style="list-style-type: none"> 1AC 230V 1.1 to 3 kW with integrated EMC filter, shielded cables ≤ 25 m 3AC 480V without integrated EMC filter with external line filter, shielded cables FSA[®] up to FSE ≤ 25 m <p>EN61800-3 category C3, 2nd environment (industrial premises):</p> <ul style="list-style-type: none"> 3AC 480V with integrated EMC filter, shielded cables FSA ≤ 10 m, FSB up to FSD ≤ 25 m, FSE ≤ 50 m |

| Features | |
|----------------|--|
| Energy savings | <ul style="list-style-type: none"> ECO mode Hibernation mode Energy consumption monitoring |
| Ease-of-use | <ul style="list-style-type: none"> Connection and application macro Parameter cloning Web server module for wireless commissioning, operation, diagnostics and maintenance (option) Keep Running Mode USS/Modbus RTU communication Customized default value List of modified parameters Drive status at fault Automatic restart Flying start DC-link voltage control I_{max} control |
| Application | <ul style="list-style-type: none"> PID controller BICO function Hammer start Super torque mode Blockage clearing mode Motor staging Flexible boost control Wobble function Slip compensation Dual ramp Adjustable PWM modulation |
| Protection | <ul style="list-style-type: none"> Frost protection Condensation protection Cavitation protection Kinetic buffering Load failure detection |



| Mounting and environment | |
|--------------------------|---|
| Degree of protection | IP20 |
| Mounting | Wall mounting, side-by-side mounting, push-through mounting for FSB, FSC, FSD and FSE |
| Cooling | <ul style="list-style-type: none"> 0.12 to 0.75 kW: convection cooling All frame sizes: power electronics cooled using heat sinks with external fan |
| Ambient temperature | <p>In operation</p> <ul style="list-style-type: none"> -10 ... 60° C (14 ... 140° F) 40 ... 60° C (104 ... 140° F) with derating <p>In Storage</p> <ul style="list-style-type: none"> -40 ... 70° C (-40 ... 158° F) |
| Relative humidity | 95% (non-condensing) |
| Altitude | <ul style="list-style-type: none"> Up to 4000 m above sea level 1000 ... 4000 m: output current derating 2000 ... 4000 m: supply voltage derating |
| Motor cable length | <ul style="list-style-type: none"> Unshielded cable: 50 m for FSSA up to FSD, 100 m for FSE Shielded cable: 25 m for FSSA up to FSD, 50 m for FSE Longer motor cables possible with output reactor (see options) |
| Dynamic braking | Option module for FSSA to FSC; integrated for FSD and FSE |

Anexo 5. Rutina de encendido del quemador y escalamiento para la conversión de señal analógica:

