

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC EN UN SISTEMA
DE REGULACIÓN PID PARA EL CONTROL DE
PROCESOS DE NIVEL, PRESIÓN, TEMPERATURA
Y VELOCIDAD.**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por el bachiller:
Mesa Centeno, Pablo.
Para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Caracas, 2004.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC EN UN SISTEMA
DE REGULACIÓN PID PARA EL CONTROL DE
PROCESOS DE NIVEL, PRESIÓN, TEMPERATURA
Y VELOCIDAD.**

Tutor: Prof. José Barriola

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por el bachiller:
Mesa Centeno, Pablo.
Para optar al título de Ingeniero Mecánico.

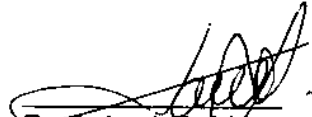
Caracas, 2004.

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller, Mesa Centeno, Pablo, titulado:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC EN UN SISTEMA DE REGULACIÓN PID PARA EL CONTROL DE PROCESOS DE NIVEL, PRESIÓN, TEMPERATURA Y VELOCIDAD”

Considerando que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.


Prof. Pedro Lecue
Jurado


Prof. José Roldán
Jurado


Prof. José Barriola
Tutor Industrial.



Mesa Centeno, Pablo.

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC EN UN SISTEMA DE REGULACIÓN PID PARA EL CONTROL DE PROCESOS DE NIVEL, PRESIÓN, TEMPERATURA Y VELOCIDAD.

Tutor: Prof. José Barriola. Tesis, Caracas.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Palabras clave: Lazo de Control, PLC, Transmisor, Transductor I/P, Chasis, PID

En este trabajo especial de grado se sustituye un controlador industrial modelo Micon P-200 del fabricante Powell industries Inc., por un PLC (Controlador lógico programable) TSX Micro 3721001 del fabricante Telemecanique, para ello se desarrolló la programación y conexiones acordes con los requerimientos de los diferentes lazos de control.

Se elimina la ubicación anterior de los instrumentos de control (gabinete de control) colocándolos en bases metálicas (chasis) independientes y estas a su vez se fijaron sobre mesas-soporte móviles. Se hizo mantenimiento y los ajustes necesarios para poner operativos los distintos elementos constitutivos de los lazos de control.

Después de su instalación física se procedió a cablear eléctricamente todos los dispositivos, incluyendo al PLC, para su funcionamiento conjunto.

Se propone un conjunto de prácticas de laboratorio que pueden ser usadas en varias de las materias del departamento de automática para mejor comprensión de los conceptos teóricos impartidos en dichas materias.

Se simuló el proceso de temperatura mediante un programa computacional para ayudarnos a conseguir los valores que permiten controlar, en forma estable el proceso.

Tabla de figuras

Figura 1. Elementos básicos de un sistema en lazo abierto.

Figura 2. Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado.

Figura 3. Sistema.

Figura 4. Control auto-actuante.

Figura 5. Control proporcional e integral

Figura 6. Control proporcional y derivativo

Figura 7. Control proporcional, integral y derivativo.

Figura 8. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de oscilación de Ziegler-Nichols.

Figura 9. Respuesta a lazo abierto de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Ziegler-Nichols.

Figura 10. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Ziegler-Nichols.

Figura 11. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Cohen-Coon.

Figura 12. PWM, Modulación por ancho de pulso.

Figura 13. Trozador directo.

Figura 14. Conexión de un controlador lógico a un proceso industrial.

Figura 15. Controlador lógico conectado a lazo abierto.

Figura 16. Controlador lógico conectado a lazo cerrado.

Figura 17. Bloques de un autómeta programable.

Figura 18. Ciclo de funcionamiento del autómeta.

Figura 19. Estructura de intercambios múltiples.

Figura 20. Chasis.

Figura 21. PLC TSX Micro.

Figura 22. CCX17 Cónsola de diálogo operador.

Figura 23. Estación de pulsadores.

Figura 24. Borneras con etiquetas identificadoras.

Figura 25. Proceso de Temperatura y Velocidad.

Figura 26. Diagrama de flujo de proceso de Temperatura.

Figura 27. Proceso de presión.

Figura 28. Diagrama de flujo de proceso de Presión.

Figura 29. Diagrama de flujo de proceso de Velocidad.

Figura 30. Proceso de nivel, parte superior.

Figura 31. Proceso de nivel, parte inferior.

Figura 32. Diagrama de flujo de proceso de Nivel.

Figura 33. Gráfica de Temperatura vs apertura del controlador (%).

Figura 34. Gráfica de Temperatura vs apertura del controlador (mA).

Figura 35. Comportamiento del proceso de temperatura.

Figura 36. Proceso de temperatura en lazo abierto.

Figura 37. Lazo cerrado que simula al proceso de temperatura

Figura 38. Simulación del proceso de temperatura para diferentes valores de PI.

Figura 39. Obtención de los valores PI.

Tabla de abreviaturas.

PLC:	Controlador Lógico Programable.
PC:	Computador personal.
I/P:	Convertidor de señal eléctrica en señal de presión.
PID:	Función de control con acción proporcional, integral y derivada.
EIM:	Escuela de Ingeniería Mecánica.
CPU:	Unidad central de procesamiento.
PWM:	Modulación por ancho de pulso.
SISO:	Entrada simple, salida simple.
MIMO:	Entrada múltiple, salida múltiple.
CD:	Disco compacto.
DCS:	Sistema de Control Distribuido.
Khz.:	Kilo Hertz.
RAM:	Memoria de acceso aleatorio.
ROM:	Memoria únicamente de lectura.
API:	Autómata programable industrial.
E/S:	Entradas/Salidas.
BCD:	Decimal codificado en binario.
SCADA:	Sistema de supervisión, control y adquisición de datos.
RTU:	Unidad terminal remota

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Limitaciones	5
1.4 Metodología	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Teoría de control	8
2.1.1 Variables de proceso	8
2.1.2 Control directo versus control indirecto	8
2.1.3 Sistemas de control adaptivo	8
2.1.4 Sistemas de control con aprendizaje	9
2.1.5 Sistemas de lazo abierto/cerrado	9
2.1.5.1 Sistemas en lazo abierto	10
2.1.5.1.1 Elementos básicos	10
2.1.5.2 Sistemas en lazo cerrado	11
2.1.5.2.1 Elementos básicos	11
2.1.5.3 Control lazo cerrado contra lazo abierto	12
2.2 Acciones básicas de control y controles automáticos industriales	19
2.2.1 Controles de dos posiciones o de si-no	20
2.2.2 Controles proporcionales (P)	21
2.2.3 Controles integrales (I)	21
2.2.4 Controles derivados (D)	21

2.2.5	Control en Cascada	22
2.2.6	Controles proporcionales e integrales (PI)	22
2.2.7	Controles proporcionales y derivados (PD)	23
2.2.8	Controles proporcionales, derivados e integrales (PID)	23
2.2.8.1	Métodos de ajuste para controladores PID	24
2.3	Control de velocidad	29
2.3.1	PWM (Modulación por Ancho de Pulso)	29
2.3.2	Trozador directo o reductor de tensión	30
2.4	Controladores	33

CAPÍTULO III. DISEÑO DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS SIMULADORES

3.1	Antecedentes en el departamento de automática	50
3.2	Descripción de los lazos de control	54
3.2.1	Lazo de temperatura	54
3.2.2	Lazo de presión	56
3.2.3	Lazo de velocidad	58
3.2.4	Lazo de nivel	59
3.3	Entonación del PID	63

CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE TEMPERATURA

4.1	Comportamiento del proceso de temperatura	65
4.2	Cálculo de la función de transferencia del proceso	68
4.3	Simulación mediante el programa computacional “Mathlab”	69

CAPÍTULO V. PRÁCTICAS PROPUESTAS

5.1	Práctica N°1. Proceso de Nivel, identificación de equipos.	72
5.2	Práctica N°2. Proceso de Presión, identificación de equipos.	73
5.3	Práctica N°3. PID en Proceso de Nivel.	74
5.4	Práctica N°4. PID en Proceso de Presión.	75
5.5	Práctica N°5. PID en Proceso de Velocidad.	76

5.6	Práctica N°6. PID en Proceso de Temperatura.	77
5.7	Práctica N°7. Parámetros PID en proceso de Nivel.	78
5.8	Práctica N°8. Parámetros PID en proceso de Presión.	79
5.9	Práctica N°9. Parámetros PID en proceso de Velocidad.	80

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	82
Recomendaciones	83

BIBLIOGRAFÍA	84
---------------------	----

ANEXOS

A1.	Manual de operación de los procesos.	87
A2.	Diagramas P&ID de los lazos de control.	96
A3.	Formatos para prácticas.	101
A4.	Cableado de los procesos de control.	115
A5.	Programación de los procesos de control.	178

INTRODUCCIÓN

En el mundo industrializado en que vivimos actualmente se nos exigen cada vez procesos más eficientes, más rápidos, más económicos y que proporcionen productos de mejor calidad, esto se ha conseguido con el desarrollo constante de nuevas tecnologías que cada vez son mejoradas o sustituidas por otras. De ahí la importancia que tiene la medición y control de los procesos mediante dispositivos y sistemas adecuados, lo cual ha convertido a la Automatización y Control Industrial en una fase necesaria e imprescindible en la proyección de una industria. Tanto así que algunas industrias ya constituidas solamente pueden mantenerse competitivas en el mercado con una modernización de sus sistemas de control. Es por esto que consideramos fundamental el estudio, desarrollo y aplicación de estas tecnologías en los estudios de ingeniería actuales.

En este trabajo especial de grado se diseñaron cuatro procesos, uno de temperatura, uno de presión, uno de velocidad y uno de nivel, que permitirán que los estudiantes saquen mejor provecho a la materia Controles Automáticos. Los procesos mencionados anteriormente se diseñaron a partir de componentes existentes en la EIM en desuso.

Se sustituyó el uso de un controlador industrial por un controlador lógico programable (PLC), este último mucho más moderno que el anterior, que permite además un diálogo hombre-máquina mucho más intuitivo y cómodo.

Se seleccionó un PLC con la capacidad y funcionalidad adecuada para la implementación del trabajo. Consideramos importante que el alumnado tenga contacto con equipos de última generación, como este PLC, para que sepa cuales son las tendencias modernas en la industria e incentivar en él la inquietud de conocer más sobre la materia.

Los procesos de control citados permitirán que el alumno se familiarice con los instrumentos y equipos que se mencionan en la teoría de las materias correspondientes, muchos de ellos los encontrará posteriormente en su desempeño profesional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Realizar el control de cuatro procesos (temperatura, presión, nivel y velocidad), utilizando el algoritmo de control de lazos proporcional, integral y derivativo (PID), mediante la programación en diagrama de escalera de un PLC Telemecanique de los existentes en el laboratorio de Automatización.

El lazo de nivel consiste en dos tanques, uno de almacenamiento y otro más pequeño en el cual se controla el nivel mediante la acción PID del controlador sobre una válvula neumática, y como perturbación posee una válvula manual de globo.

En el caso del lazo de presión tenemos un compresor de suministro de aire, una válvula reguladora sobre la cual actúa el PLC y una válvula de perturbación cuya apertura o cierre simula una demanda variable de aire.

El control de velocidad se realiza sobre un pequeño motor eléctrico mediante las acciones PID y modulación por ancho de pulso (PWM).

La medición de temperatura en el lazo de temperatura, se realiza mediante una termocupla y el control es de tipo PID variando la tensión de una resistencia eléctrica.

Desarrollar prácticas para los procesos de control antes citados, como complemento a la materia teórica Controles Automáticos.

Crear estructuras físicas que sustituyan al gabinete de control actual y separar cada uno de los procesos en bancos de prueba independientes para facilitar la elaboración de prácticas orientadas a cada proceso.

1.2 Objetivos

1.1 Objetivo General

Implementar, mediante el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC), un sistema de control PID, para la regulación de procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad.

1.2 Objetivos Específicos

- ◆ Diseñar y construir cuatro sistemas de simulación de procesos, de nivel, presión, temperatura y velocidad respectivamente.
- ◆ Obtener la función de transferencia y simular el proceso de temperatura.
- ◆ Seleccionar e implementar los transductores de medición y realimentación.
- ◆ Crear la lógica programada adecuada en el PLC para el control PID de los distintos lazos de control
- ◆ Proponer ensayos didácticos o demostrativos para la sustentación práctica de los conceptos básicos de control de lazos PID.

1.3 Limitaciones

Los equipos utilizados para este trabajo, se encontraban en el laboratorio de controles automáticos, esto facilitó en gran medida su desarrollo, sin embargo de esta manera no se actualiza tecnológicamente el mismo.

Se contó con apoyo económico por parte de la E.I.M para cubrir gastos menores como tiras adhesivas, teflón, uniones de cobre, plásticas etc... Se reutilizaron los equipos existentes en el laboratorio a fin de optimizar los recursos y en aquellos casos en que estos no estaban operativos, se repararon.

Para entonar los lazos de control se consultaron métodos empíricos como el de Ziegler-Nichols, sugerido por el manual del PLC, modelage mediante el programa “Mathlab”, consulta a profesionales del área en busca de una solución y por último se recurrió a ajustar los valores de la función PID mediante ensayo y error.

Cuando se probaron los equipos del proceso de presión, se determinó que el transmisor de presión no cumplía con los rangos de presión suministrados en el laboratorio, por ello se procedió a sustituirlo por otro transmisor de presión marca Honeywell, que si se adapta a los requerimientos. Dicho transmisor fue donado por la empresa mencionada anteriormente. Pero para poder utilizarlo hubo que variar su rango de operación, este trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la empresa Honeywell a través una computadora portátil con un programa propietario que la empresa Honeywell posee para los transmisores que fabrica.

1.4 Metodología

Se procedió inicialmente a realizar la selección de los transmisores, válvulas y demás instrumentos que se encontraban en el gabinete de control. Esto incluye determinar cuál es la función de cada equipo, cuáles son sus rangos de operación, qué señal utilizan, y cómo deben ser conectados tanto eléctricamente como al proceso a que corresponda.

Se probaron y repararon los distintos transductores, transmisores y demás equipos para verificar si funcionaban y para sustituir los que estaban dañados.

Posteriormente se armaron cada uno de los chasis modulares de forma que pudieran fijarse en ellos cada uno de los equipos de los procesos. Se fijaron todos los equipos en sus correspondientes chasis. Se fijó cada chasis a una mesa individual, a las cuales se le soldaron cuatro ruedas a cada una para permitir su fácil movilidad.

Una vez fijado cada proceso en su chasis-mesa correspondiente, se colocaron las borneras necesarias para cablearlos. Se cablearon y se volvieron a probar todos los equipos ya funcionando.

Se imprimieron diagramas ilustrativos de los procesos, leyendas y etiquetas identificadoras en cada una de las borneras.

Una vez implementados los procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad se definió la narrativa de cada proceso y se elaboró la programación del PLC necesaria para controlar cada uno de los procesos.

Por último se procedió a utilizar diferentes métodos para entonar cada uno de los procesos.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

2.1 Teoría de control

2.1.1 Variables de proceso.

Una *variable* es una cantidad física que puede ser medida, alterada, transmitida y registrada. La información relativa a la variable de proceso se refiere como datos (DATA). Con la tecnología de hoy, se puede automáticamente medir y controlar cantidades físicas tales como velocidad, presión, temperatura, etc.

Medida es el acto de lectura de un valor a cierto tiempo. En la industria una variable leída es referida como *Variable de proceso*.

La base del control de proceso es la lectura de la data de una o más variables a fin de determinar los pasos necesarios para realizar el proceso de manufactura de acuerdo al diseño. Un proceso industrial moderno es controlado mediante la medición de una o mas variables de proceso y regulando el proceso de acuerdo a la data medida.

Control. Originalmente todas las operaciones de control de procesos eran realizadas por el ser Humano, a medida que los procesos empezaron a ser mas complejos, el operador se reemplazo por equipos semiautomáticos. Hoy en día el control de proceso puede ser realizado completamente automático.

2.1.2 Control directo versus control indirecto.

Se hace notar que para obtener el mejor resultado es deseable medir y controlar directamente la variable que indica el estado del sistema o la calidad del producto. En el caso de sistemas de control de procesos se puede desear medir y controlar directamente la calidad del producto. Sin embargo, esto puede presentar un problema difícil, ya que puede ser difícil efectuar la medición de esa calidad. Por ejemplo, se pueden controlar variables (como temperatura y presión) directamente relacionadas con la calidad.

Como puede haber otras variables que afecten la relación entre la calidad y las variables medidas, el control indirecto de un sistema suele no ser tan eficaz como el control directo. Aunque pueda ser difícil, siempre hay que tratar de controlar la variable primaria lo más directamente que sea posible.

2.1.3 Sistemas de control adaptivo.

Las características dinámicas de la mayoría de los sistemas de control no son constantes por diversas razones, como el deterioro de los componentes al transcurrir el tiempo o las modificaciones en parámetros o en el medio ambiente (por ejemplo, cambios en la masa y en las condiciones atmosféricas en un sistema de control de vuelo). Aunque en un sistema

de control realimentado se atenúan los efectos de pequeños cambios en las características dinámicas, si las modificaciones en los parámetros del sistema y en el medio son significativas, un sistema para ser satisfactorio ha de tener la capacidad de adaptación. La adaptación implica la capacidad de auto ajustarse o auto modificarse de acuerdo con modificaciones imprevisibles del medio o estructura. Los sistemas de control que tienen algún grado de capacidad de adaptación, se denominan sistema de control *adaptado* o *adaptivo*.

En un sistema de control adaptado, las características dinámicas deben estar identificadas en todo momento de manera que los parámetros de control o detección puedan ajustarse para mantener el funcionamiento óptimo. Este concepto tiene una buena dosis de atracción para el ingeniero diseñador de sistemas, ya que un sistema de control adaptivo, además de acomodarse a los cambios ambientales, también lo hace ante moderados errores de proyecto de ingeniería o incertidumbres y compensa la eventual falla de componentes menores del sistema, aumentando, por tanto, la confiabilidad de todo el sistema.

2.1.4 Sistemas de control con aprendizaje.

Muchos sistemas de control que aparentemente son de lazo abierto pueden ser convertidos a sistemas de control de lazo cerrado si se considera un detector o control humano que compara la entrada y salida y realiza las acciones correctivas basadas en la diferencia resultante, o error.

Si intentamos analizar sistemas de control de lazo cerrado con operación humana, encontramos el difícil problema de escribir ecuaciones que describan el comportamiento de un ser humano. En este caso uno de los muchos factores que lo complican es la capacidad de aprender del operador humano. A medida que éste va adquiriendo experiencia, se convierte en un mejor elemento de control, y esto debe ser tenido en cuenta al analizar el sistema. Los sistemas de control con capacidad de aprender reciben el nombre de sistemas *con aprendizaje*. Este concepto es muy nuevo y no ha sido explorado a fondo.

Últimamente en la literatura se ha informado sobre recientes progresos en aplicaciones de control adaptado y con aprendizaje, pero vastas áreas de actividad en ingeniería quedan disponibles para estudio futuro.

2.1.5 Sistemas de lazo abierto/cerrado

Un sistema que mantiene una relación establecida entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado o de lazo cerrado. También existen los sistemas de lazo abierto en los cuales la salida no afecta la acción de control. En esta sección veremos las características de cada uno y también sus diferencias.

2.1.5.1 Sistemas en lazo abierto.

Son los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control. En un sistema en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se utiliza si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado.

2.1.5.1.1 Elementos básicos

- 1. Elemento de control:** Este elemento determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.
- 2. Elemento de corrección:** Este elemento responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia la acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- 3. Proceso:** El proceso o planta en el sistema en el que se va a controlar la variable.

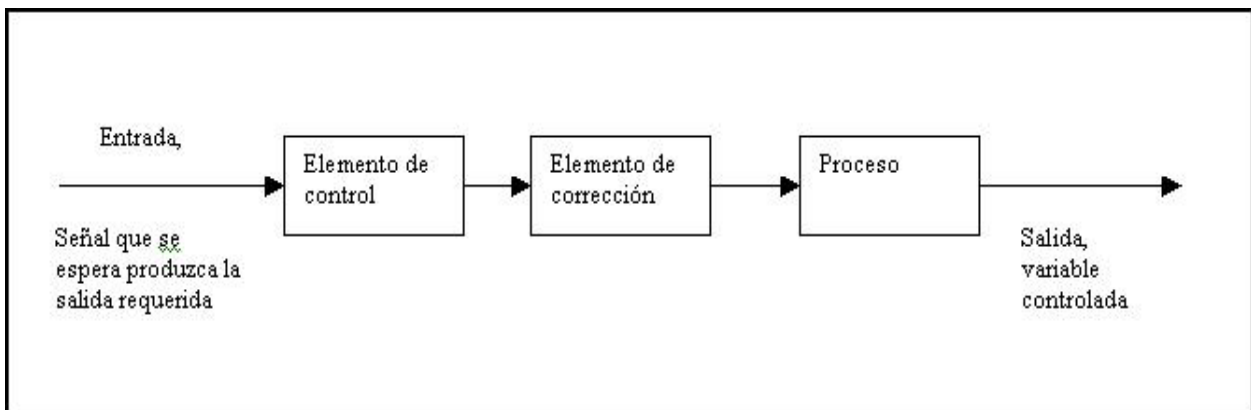


Figura 1. Elementos básicos de un sistema en lazo abierto.

2.1.5.2 Sistemas en lazo cerrado.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control de lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador con la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que

puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas o/y integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

2.1.5.2.1 Elementos básicos

1. **Elemento de comparación:** Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido.
2. **Elemento de control:** Este elemento decide que acción tomar cuando se recibe una señal de error.
3. **Elemento de corrección:** Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error.
4. **Elemento de proceso:** El proceso o planta, es el sistema dónde se va a controlar la variable.
5. **Elemento de medición:** Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.

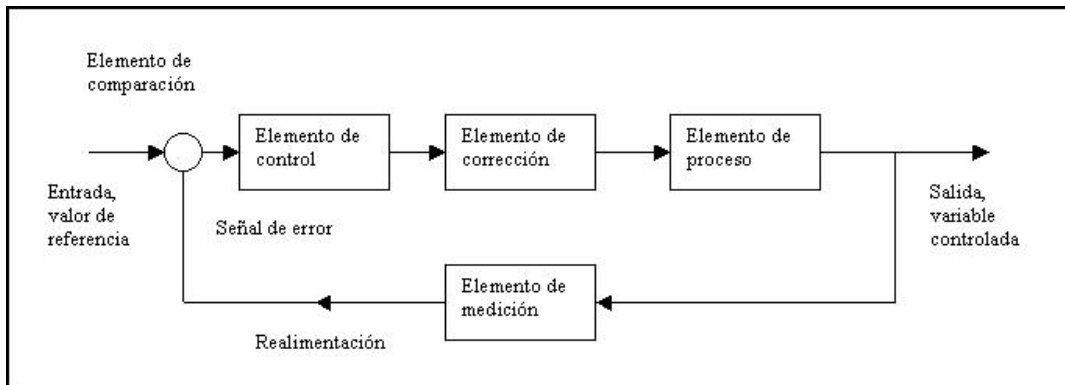


Figura 2. Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado.

2.1.5.3 Control en lazo cerrado contra lazo abierto.

Las **ventajas** de tener una trayectoria de realimentación y, por lo tanto, un sistema en lazo cerrado en lugar de un sistema en lazo abierto son:

1. Más exacto en la igualación de los valores real y requerido para la variable.
2. Menos sensible a las perturbaciones.
3. Menos sensible a cambios en las características de los componentes.
4. La velocidad de respuesta se incrementa y, por lo tanto, el ancho de banda es mayor, es decir, el intervalo de frecuencias en los que el sistema responderá.

Pero hay algunas **desventajas**:

1. Hay una pérdida en la ganancia en cuanto a que la función de transferencia de un sistema en lazo abierto, se reduce de G a $G/(1+GH)$ por una trayectoria de realimentación con una función de transferencia H .
2. Existe una gran posibilidad de inestabilidad.
3. El sistema es más complejo y, por lo tanto, no sólo más caro, sino más propenso a descomposturas.

Teoría de sistemas.

Campo que se ocupa de estudiar el comportamiento temporal de los sistemas.

- Primero se ha de establecer la dependencia entre las variables de salida y de entrada.
- Segundo, tenemos que decidir como variará la variable de salida que sea precisa o no...
- Sistema: conjunto de componentes interactuantes.
- La interacción de los componentes en el sistema genera señales observables.
- Las señales observables que son de nuestro interés son usualmente denominadas salidas del sistema y las denotaremos con y .
- El sistema está también afectado por estímulos externos. Las señales externas que pueden ser manipuladas son usualmente llamadas entradas, que denotamos con u , mientras que las que no pueden ser manipuladas son llamadas perturbaciones. Las perturbaciones suelen dividirse en aquellas que pueden medirse directamente y aquellas que se ponen en evidencia sólo a través de su influencia en las salidas.

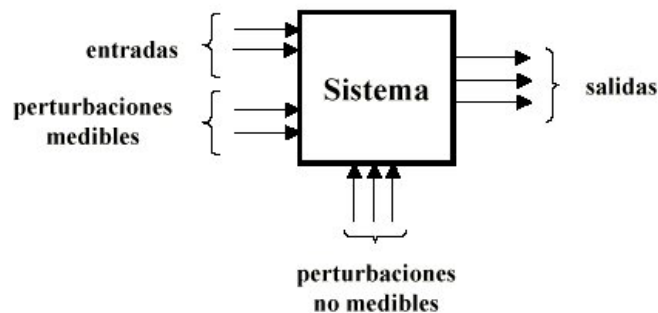


Figura 3. Sistema.

- Sistemas con una sola entrada y una sola salida se denominan SISO (Single-Input/ Single- Output), o escalares, o monovariables.
- Sistemas con varias entradas y varias salidas se denominan MIMO (Multiple- Input/ Multiple- Output), o multivariables.

Los sistemas no necesariamente están restringidos a sistemas físicos. Pueden ser biológicos, económicos, computacionales, informáticos, sociales, etc.

Compromisos en la elección de la ganancia de realimentación.

Podría pensarse que todo lo que se necesita para resolver el problema de control es cerrar un lazo de ganancia elevada alrededor de la planta. Esto es estrictamente cierto. Sin embargo, nada en la vida viene sin un costo, lo que también se aplica al empleo de una ganancia elevada de realimentación.

Por ejemplo, si alguna perturbación afecta a la planta y produce un error $e(t)$ distinto de cero, entonces la ganancia elevada produciría una señal de control $u(t)$ muy elevada también. Tal señal puede exceder el rango permitido de los actuadores e invalidar la solución.

Otro problema potencial con el empleo de ganancia elevada es que a menudo va acompañada de un riesgo muy considerable de *inestabilidad*. La inestabilidad se caracteriza por la presencia de oscilaciones sostenidas (o crecientes).

Por ejemplo, una manifestación de inestabilidad resultante de la excesiva ganancia de realimentación es el silbido de alta frecuencia que se escucha cuando un parlante se coloca demasiado cerca de un micrófono.

En resumen, la elevada ganancia de lazo es deseable desde muchos aspectos, pero es también indeseable desde otras perspectivas. En consecuencia, cuando se elige la ganancia de realimentación debe arribarse a una solución de compromiso en forma racional, teniendo en cuenta todos los factores en juego.

Control por realimentación.

El control por realimentación tiene una larga historia que comenzó con el deseo primordial de los seres humanos de dominar los materiales y las fuerzas de la naturaleza en su provecho.

Los primeros ejemplos de dispositivos de control incluyen los sistemas de regulación de relojes y los mecanismos para mantener los molinos de viento orientados en la dirección del viento.

Las plantas industriales modernas poseen sofisticados sistemas de control que son cruciales para su operación correcta.

La ingeniería de control ha tenido un enorme impacto en nuestra sociedad; de hecho, ninguno de los sistemas modernos (aviones, trenes de alta velocidad, reproductores de CD, etc.) podría operar sin la ayuda de sofisticados sistemas de control.

Por ejemplo, el regulador centrífugo de Watt tuvo un impacto fundamental durante la revolución industrial.

¿Dónde se usa control?

- Procesos industriales

- Transporte: Autos, Trenes, Barcos, Aviones, Naves espaciales
- Generación de energía
- Transmisión de energía
- Mecatrónica
- Instrumentación
- Artefactos electrónicos
- Economía
- Medicina

Un mejor control es la clave tecnológica para lograr:

- productos de mayor calidad
- minimización de desperdicios
- protección del medio ambiente
- mayor rendimiento de la capacidad instalada
- mayores márgenes de seguridad.

Tipos de diseños de control

El diseño de sistemas de control también toma distintas formas, cada una de las cuales requiere enfoques ligeramente distintos. Los ingenieros de control deben resolver problemas en las distintas etapas de la «vida» de un sistema de control, por ejemplo:

- Diseño inicial «de base»
- Construcción y ajuste
- Refinamiento y actualización
- Estudio «forense»

Integración de sistemas

El éxito en ingeniería de control se apoya en tener un enfoque «global» de los problemas. Algunos de los elementos a tener en cuenta:

- la planta, el proceso a ser controlado
- los objetivos
- los sensores
- los actuadores
- las comunicaciones
- el cómputo
- la configuración e interfaces
- los algoritmos
- las perturbaciones e incertidumbres

La planta

La estructura física de la planta es una parte intrínseca del problema de control. Por lo tanto, los ingenieros de control deben estar familiarizados con la «física» del proceso bajo estudio.

Esto incluye conocimientos básicos de balances de energía, balances de masas, y flujo de materiales en el sistema.

Objetivos

Antes de diseñar sensores, actuadores, o configuraciones de control, es importante conocer los objetivos de control. Estos incluyen:

- Qué es lo que se pretende alcanzar (reducción de energía, mayor producción, etc.).
- Qué variables deben controlarse para alcanzar los objetivos.
- Qué nivel de calidad se necesita (precisión, velocidad, etc.).

Los sensores

Los sensores son los "ojos" del sistema de control, que le permiten *ver* qué está pasando. De hecho, algo que suele decirse en control es:

Si se puede medir, se puede controlar.

Los actuadores

Una vez ubicados los sensores para informar el *estado* de un proceso, sigue determinar la forma de *actuar* sobre el sistema para hacerlo ir del estado actual al estado deseado.

Un problema de control industrial típicamente involucrará varios actuadores distintos.

Las comunicaciones

La interconexión de sensores y actuadores requieren el uso de sistemas de comunicación.

Una planta típica va a tener miles de señales diferentes que deberán ser transmitidas a largas distancias. Así, el diseño de sistemas de comunicación y sus protocolos asociados es un aspecto cada vez más importante de la ingeniería de control moderna.

El cómputo

En los sistemas de control modernos la interconexión de sensores y actuadores se hace invariablemente a través de una computadora de algún tipo. Por lo tanto, los aspectos computacionales son necesariamente una parte del diseño general.

Los sistemas de control actuales usan una gama de dispositivos de cómputo, que incluyen DCS (sistemas de control distribuido), PLC (controladores lógicos programables), PC (computadoras personales), etc.

Configuración e interfaces

La cuestión de qué se conecta con qué no es trivial en el diseño de un sistema de control. Podría pensarse que lo mejor siempre sería llevar todas las señales a un punto central, de manera que cada acción de control esté basada en información completa (el denominado *control centralizado*). Sin embargo, esta raramente es la mejor solución en la práctica. De hecho, hay muy buenas razones por las que no conviene llevar todas las señales a un punto común. Algunas obvias son complejidad, costos, limitaciones en tiempo de cómputo, mantenimiento, confiabilidad, etc.

Típica jerarquía de control				
Nivel	Descripción	Meta	Tiempos	Herramienta de diseño típica
4	Optimización global de la planta	Satisfacer los pedidos de los clientes y organizar el suministro de materiales	C/día	Optimización estática
3	Optimización en régimen permanente a nivel unidad operacional	Lograr la operación eficiente de una unidad (e.g., columna de destilación)	C/hora	Optimización estática
2	Control dinámico a nivel unidad operacional	Lograr los puntos de operación especificados en el nivel 3 con rápida recuperación de perturbaciones	C/minuto	Control multivariable (e.g., control predictivo basado en modelo)
1	Control dinámico a nivel de actuador	Lograr los caudales de flujo especificados en el nivel 2 mediante manipulación de los actuadores disponibles	C/segundo	Control monovariable (e.g. PID)

Algoritmos

Finalmente, llegamos al *corazón* de la ingeniería de control: los algoritmos que conectan sensores y actuadores. Es muy fácil subestimar este aspecto final del problema.

Como ejemplo simple de nuestra experiencia diaria, consideremos el problema de jugar tenis a primer nivel internacional. Claramente, se necesita buena visión (sensores) y fuerza

muscular (actuadores) para jugar tenis en este nivel, pero estos atributos no son suficientes. De hecho, la coordinación entre ojos y brazo es también crucial para el éxito.

En resumen:

Los sensores proveen los ojos, y los actuadores los músculos; la teoría de control provee la destreza.

Mejores sensores dan mejor visión.

Mejores actuadores dan más músculos.

Mejor control da más destreza al combinar *sensores* y *actuadores* de forma más inteligente
Perturbaciones e incertidumbre

Uno de los factores que hacen a la ciencia del control interesante es que todos los sistemas reales están afectados por ruido y perturbaciones externas. Estos factores pueden tener un impacto significativo en el rendimiento del sistema. Como ejemplo simple, los aviones están sujetos a ráfagas de vientos y pozos de aire; los controladores de crucero de los automóviles deben adecuarse a diferentes condiciones de la ruta y diferentes cargas del vehículo.

Homogeneidad

Finalmente, todos los sistemas interconectados, incluyendo sistemas de control, sólo pueden ser tan buenos como el elemento más débil. Las consecuencias de este hecho en el diseño de control son que debe tenderse a que todos los componentes (planta, sensores, actuadores, comunicaciones, cómputo, interfaces, algoritmos, etc.) sean de una precisión y calidad aproximadamente comparable.

Análisis costo-beneficio

Para poder avanzar en ingeniería de control (como en muchas otras disciplinas) es importante saber justificar los gastos asociados. Esta justificación usualmente toma la forma de un **análisis costo-beneficio**. Las etapas típicas incluyen:

- Evaluación de un rango de oportunidades de control.
- Selección de una lista corta a examinar en más detalle.
- Decidir entre un proyecto de alto impacto económico o al medio ambiente.
- Consultar personal adecuado (gerencial, de operación, de producción, de mantenimiento, etc.).
- Identificar los puntos claves de acción.
- Obtener información de desempeño de un caso base para comparación ulterior.
- Decidir modificaciones a las especificaciones de operación.
- Actualizar actuadores, sensores, etc.
- Desarrollo de algoritmos.
- Probar algoritmos vía simulación.

- Probar los algoritmos sobre la planta usando sistemas de desarrollo rápido de prototipos.
- Obtener información de desempeño para comparar con el caso base.
- Realizar la implementación definitiva.
- Obtener información de desempeño final alcanzado.
- Realizar el informe final del proyecto.

2.2 Acciones básicas de control y controles automáticos industriales.

Un control automático compara el valor efectivo de salida de una planta con el valor deseado, determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. La forma en que el control automático produce la señal de control recibe el nombre de *acción de control*.

Se presentarán las acciones de control básicas utilizadas comúnmente en los controles automáticos industriales. Primero se introduce el principio de operación de los controles automáticos y los diversos métodos de generación de las señales de control, como la derivada o integral de la señal de error. Luego se analizan los efectos de los distintos modos de control en el funcionamiento del sistema.

Clasificación de los controles automáticos. De acuerdo con su acción de control se pueden clasificar los controles automáticos industriales en:

1. Controles de dos posiciones o de sí-no
2. Controles proporcionales (P)
3. Controles integrales (I)
4. Controles derivados (D)
5. Control en Cascada
6. Controles proporcionales e integrales (PI)
7. Controles proporcionales y derivados (PD)
8. Controles proporcionales, derivados e integrales (PID)

La mayoría de los controles automáticos industriales usan como fuentes de potencia la electricidad o un fluido a presión que puede ser aceite o aire. También se pueden clasificar los controles automáticos según el tipo de fuente de energía usada en su funcionamiento, en controles neumáticos, hidráulicos o electrónicos. Qué tipo de control usar depende de la naturaleza de la planta y sus condiciones de funcionamiento, inclusive consideraciones de seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

Controles auto-actuantes.

En la mayor parte de los controles automáticos industriales se usan unidades independientes como elemento de medición y como accionador. Sin embargo, en los muy simples, como en los controles auto actuantes, ambas unidades están reunidas en una sola. Los controles auto actuantes utilizan potencia tomada del elemento de medición y son muy simples y

económicos. En la Fig. 4 se puede ver un ejemplo de control auto actuante. El punto de ajuste queda determinado por el ajuste de la fuerza en el resorte. El diafragma mide la presión controlada. La señal de error actuante es la fuerza neta que actúa sobre el diafragma. Su posición determina la apertura de la válvula. Su posición determina la apertura de la válvula.

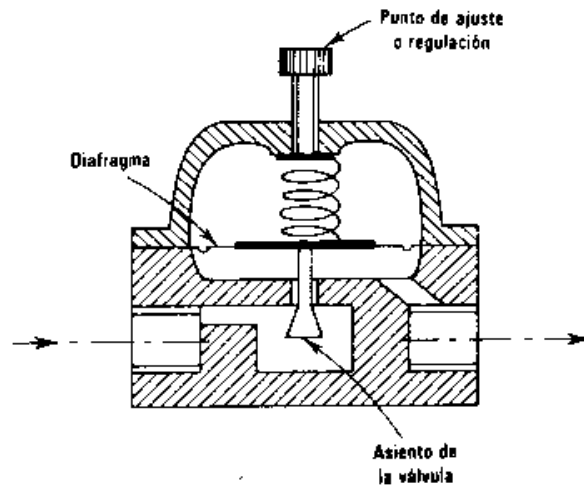


Figura 4. Control auto-actuante.

El funcionamiento del control auto actuante es el siguiente: supóngase que la presión de salida es inferior a la presión de referencia, según lo determina el punto de ajuste o regulación. Entonces la fuerza del resorte hacia abajo es superior a la fuerza ascendente de la presión, produciéndose un desplazamiento del diafragma hacia abajo. Esto aumenta el flujo y, por tanto, la presión de salida. Cuando la presión hacia arriba iguala a la fuerza del resorte hacia abajo, el vástago de la válvula permanece estacionario y el flujo es constante. Inversamente, si la presión de salida llega a ser mayor que la presión de referencia, se reduce la apertura de la válvula y disminuye el flujo a través de la misma. En un control como éste, el flujo a través de la apertura de la válvula es aproximadamente proporcional a la señal de error actuante,

2.2.1 Controles de dos posiciones o de sí-no.

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento final de control tiene solamente dos posiciones fijas (respuestas) que son “todo” o “nada”; en muchos casos son *prendido y apagado*. Ésta está en contraste con las otras acciones de control en las cuales el dispositivo de control es capaz de una variación continua de la respuesta para un rango específico. Estando limitado a dos posiciones, el control de dos posiciones proporciona demasiada, o muy poca corrección al sistema. En esta forma, la variable controlada debe moverse continuamente entre los límites requeridos y hacer que el elemento de control se mueva de una posición fija a la otra. El rango a través del cual debe moverse la variable controlada se llama *diferencial* del elemento de control. La “oscilación” de la variable controlada entre

los dos límites es una característica importante del control de dos posiciones y la cual a veces limita su utilidad. Sin embargo, un control de dos posiciones es relativamente simple y barato y, por esta razón, es ampliamente usado.

2.2.2 Controles proporcionales (P).

Con el control proporcional, se toma la acción correctiva de manera que sea proporcional al error. Expresado matemáticamente:

$$m(t) = K_p e(t) \quad (1)$$

donde $m(t)$ es un *cambio* de la variable manipulada (la cantidad que se varía para obtener la corrección), K_p es la ganancia del control proporcional y e es el error, o la señal actuante.

Una característica importante de la acción de control proporcional se revela en la ecuación 1. Si se necesitara una corrección sostenida (debida a una perturbación sostenida que actúe sobre el sistema), existirá un error correspondiente en el estado estable, es decir, $e_{ee} = m(t)/K_p$.

2.2.3 Controles integrales (I).

Una segunda acción de control es la que proporciona un control integral. Aquí se hace una corrección que es proporcional a la integral del error respecto al tiempo. Expresado matemáticamente:

$$m(t) = K_i \int e(t) dt$$

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (2)$$

donde $m(t)$ es un cambio de la variable manipulada, K_i es la ganancia del control integral y e es el error o la señal actuante.

La ecuación 2, revela que la corrección se hace proporcional al error, de manera que un control integral continuará corrigiendo hasta que el *error* sea cero. Esta tendencia a eliminar cualquier error del sistema en el estado estable es el beneficio principal que se obtiene de la acción de un control integral; pero, existe también una dificultad: el control integral tiende a sobre corregir, produciendo, por tanto, una respuesta oscilatoria y en algunos casos, inestabilidad.

2.2.4 Controles derivados (D).

En el control “derivativo”, se hace una corrección que es proporcional a la derivada del error respecto al tiempo. Expresado matemáticamente,

$$m(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

donde K_d es la ganancia del control “derivativo”.

El control “derivativo” es útil porque responde a la rapidez de cambio del error y puede producir una corrección significativa antes de que la magnitud real del error sea grande. Por esta razón, a veces se dice que el control “derivativo” se anticipa al error y, de esta manera, inicia una prematura corrección del error. Sin embargo, a pesar de su utilidad, el control “derivativo” no puede usarse sólo porque no responderá a un error del estado estable. Por tanto, debe usarse en combinación con otras acciones de control.

2.2.5 Control en Cascada

El control en cascada es una forma de compensación de la retroalimentación, que apareció en la industria de procesos. En principio, el control en cascada implica la manipulación del punto fijo (establecido) de un controlador por medio de un ciclo adicional de retroalimentación. En esta forma, el control en cascada implica dos ciclos de realimentación, un ciclo externo y uno interno, el cual modifica al ciclo externo. El resultado del control en cascada es, naturalmente, una mejoría de la respuesta, particularmente por lo que respecta a perturbaciones dentro del ciclo interno.

2.2.6 Controles proporcionales e integrales (PI).

Las acciones de control proporcional e integral pueden combinarse para producir una corrección que es la suma de las contribuciones individuales de los dos. Expresado matemáticamente:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (3)$$

La combinación definida por la ecuación (3) es un “remedio” para ciertas “enfermedades” de los sistemas de control.

La Fig. 5 muestra un control proporcional e integral. Si la señal error actuante $e(t)$ es una función escalón unitario como se ve en la parte izquierda de la figura 5, la salida del control $m(t)$ pasa a ser la indicada en la parte derecha.

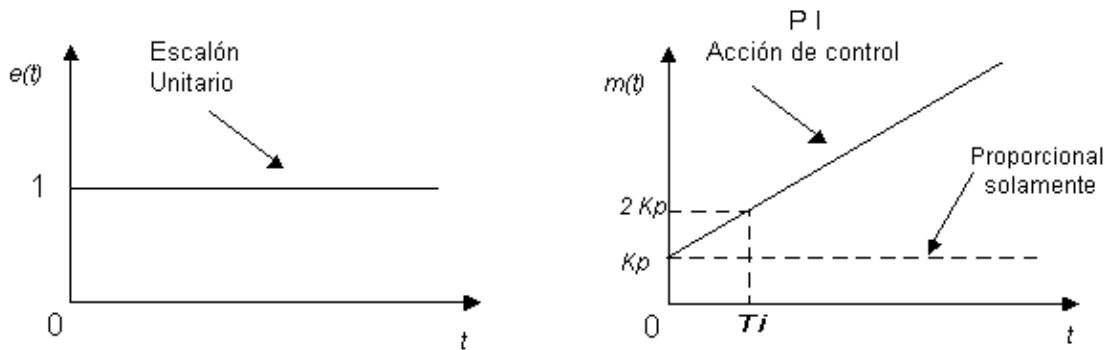


Diagrama que muestra una entrada escalón unitario y la salida de control

Figura 5. Control proporcional e integral.

2.2.7 Controles proporcionales y derivados (PD).

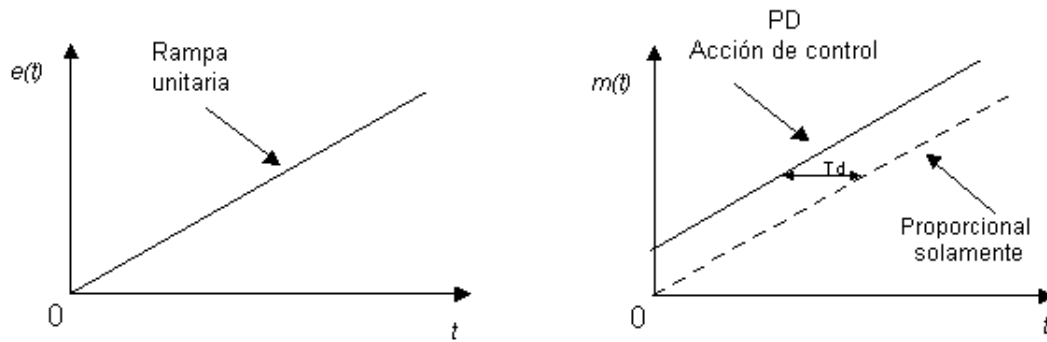
La acción de control proporcional y derivativa queda definida por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

donde K_p es la sensibilidad proporcional y T_d es el tiempo derivativo. Tanto K_p como T_d son regulables. La acción de control derivativa, a veces denominada control de velocidad, es cuando el valor de salida del control es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error actuante. El tiempo derivativo es el intervalo de tiempo en el que la acción de velocidad se adelanta al efecto de acción proporcional. Si la señal de error actuante $e(t)$ es una función rampa unitaria, como se ve en la Fig. 6, la salida del control $m(t)$ es la que puede verse en la a la derecha de la Fig. 6. Como puede verse en esta figura, la acción de control derivativo tiene carácter de anticipación. Sin embargo, por supuesto, la acción derivativa nunca puede anticiparse a una acción que aún no ha tenido lugar.

Mientras la acción de control derivativo tiene la ventaja de ser anticipadora, tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede producir efecto de saturación en el accionador.

Hay que notar que nunca se puede tener una acción de control derivativo sola, porque este control es efectivo únicamente durante períodos transitorios.



Diagramas que muestran una entrada rampa unitaria y la salida del control

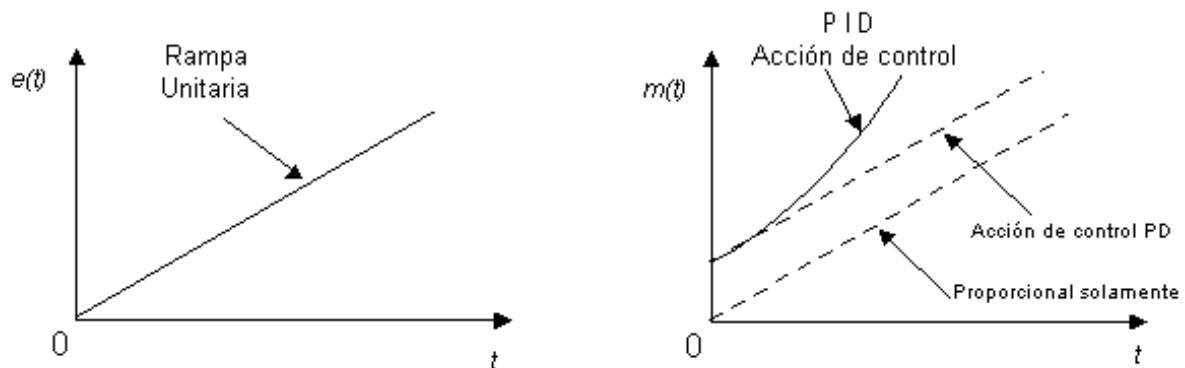
Figura 6. Control proporcional y derivativo.

2.2.8 Controles proporcionales, derivados e integrales (PID).

La combinación de los efectos de acción proporcional, acción de control derivativa y acción de control integral, se llama acción de control proporcional, derivativa e integral. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un control con esta acción de control combinada está dada por

$$m(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

donde K_p , representa la sensibilidad proporcional, T_d el tiempo derivativo y T_i el tiempo integral. Si $e(t)$ es una función rampa unitaria como la de la Fig. 7 (izquierda), la salida del control, $m(t)$, es el que puede verse en la Fig. 7 (derecha).



Diagramas que muestran una entrada rampa unitaria y la salida de control

Figura 7. Control proporcional, integral y derivativo.

Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria.

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95 % de los procesos industriales en lazo cerrado.

2.2.8.1 Métodos de ajuste para controladores PID.

Debido a su difundido uso en la práctica, presentamos a continuación varios métodos de **ajuste empírico** de controladores PID, basados en mediciones realizadas sobre la planta real. Estos métodos, referidos como **clásicos**, comenzaron a usarse alrededor de 1950. Hoy en día, es preferible para el diseñador de un PID usar **técnicas basadas en modelo**.

Los métodos clásicos de ajuste que presentaremos son:

- El método de oscilación de Ziegler-Nichols
- El método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols
- El método de la curva de reacción de Cohen-Coon

Método de oscilación de Ziegler-Nichols

Este método es válido sólo para plantas estables a lazo abierto.

El procedimiento es el siguiente:

1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia K_p pequeña.
2. Aumentar el valor de K_p hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador ($u(t)$).
3. Registrar la ganancia crítica $K_p = K_c$ y el período de oscilación P_c de $u(t)$, a la salida del controlador.
4. Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo al Cuadro 1.

	K_p	T_r	T_d
P	$0.50 K_c$		
PI	$0.45 K_c$	$\frac{P_c}{1.2}$	
PID	$0.60 K_c$	$\frac{P_c}{2}$	$\frac{P_c}{8}$

Cuadro 1: Parámetros de controladores PID según el método de oscilación de Ziegler-Nichols

Es importante saber cuál es la estructura (estándar, serie o paralelo) del PID al que se aplica el ajuste propuesto por Ziegler y Nichols. Existe cierta controversia respecto a cuál fue la estructura originalmente usada por Ziegler y Nichols; las reglas dadas aquí se proponen para la estructura estándar.

Para analizar el efecto del ajuste de control proporcionado por el método de oscilación de Ziegler-Nichols consideremos una planta general con función transferencia (4).

$$G_0(s) = \frac{k_0 e^{-s\tau_0}}{\gamma_0 s + 1}; \gamma_0 > 0 \quad (4)$$

La Figura 8 muestra la respuesta del lazo cerrado con un controlador PID ajustado mediante el método de oscilación de Ziegler-Nichols para distintos valores de $x = \tau_0 / \gamma_0$. El eje de tiempos se representa normalizado en unidades de t / τ_0 .

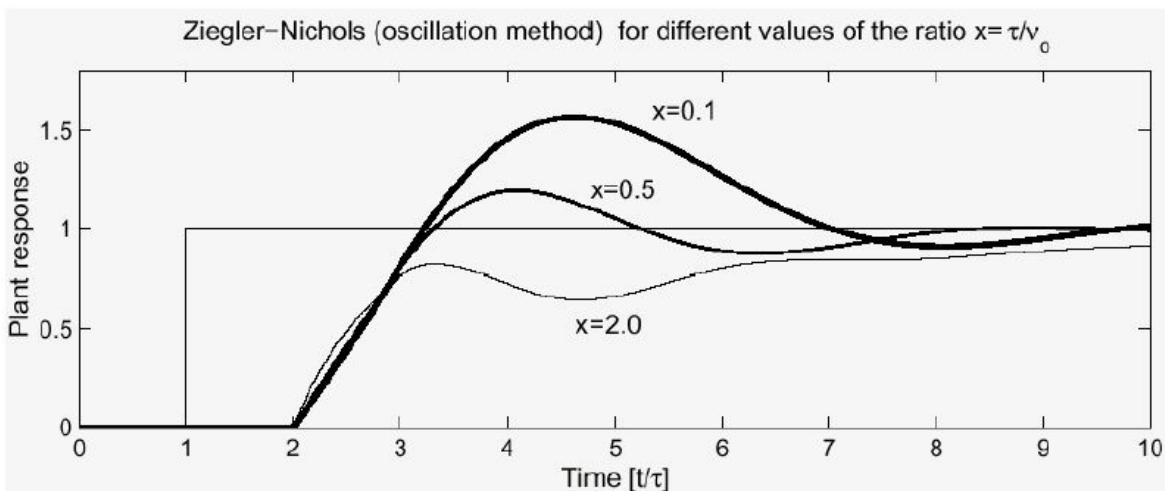


Figura 8. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de oscilación de Ziegler-Nichols.

Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

Muchas plantas en la práctica pueden describirse satisfactoriamente con un modelo de la forma (4). Una versión linealizada cuantitativa de este modelo puede obtenerse mediante un experimento a lazo abierto con el siguiente procedimiento:

1. Llevar manualmente la planta a lazo abierto a un punto de operación normal manipulando $u(t)$. Supongamos que la planta se estabiliza en $y(t) = y_0$ para $u(t) = u_0$.
2. En un instante inicial t_0 aplicar un cambio escalón en la entrada, de u_0 a $u_0 \Psi$ (el salto debe estar entre un 10 a 20% del valor nominal).
3. Registrar la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. La Figura 9 muestra una curva típica.
4. Calcular los parámetros del modelo (4) de las fórmulas

$$K_0 = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0}; \tau_0 = t_1 - t_0; \gamma_0 = t_2 - t_1 \quad (5)$$

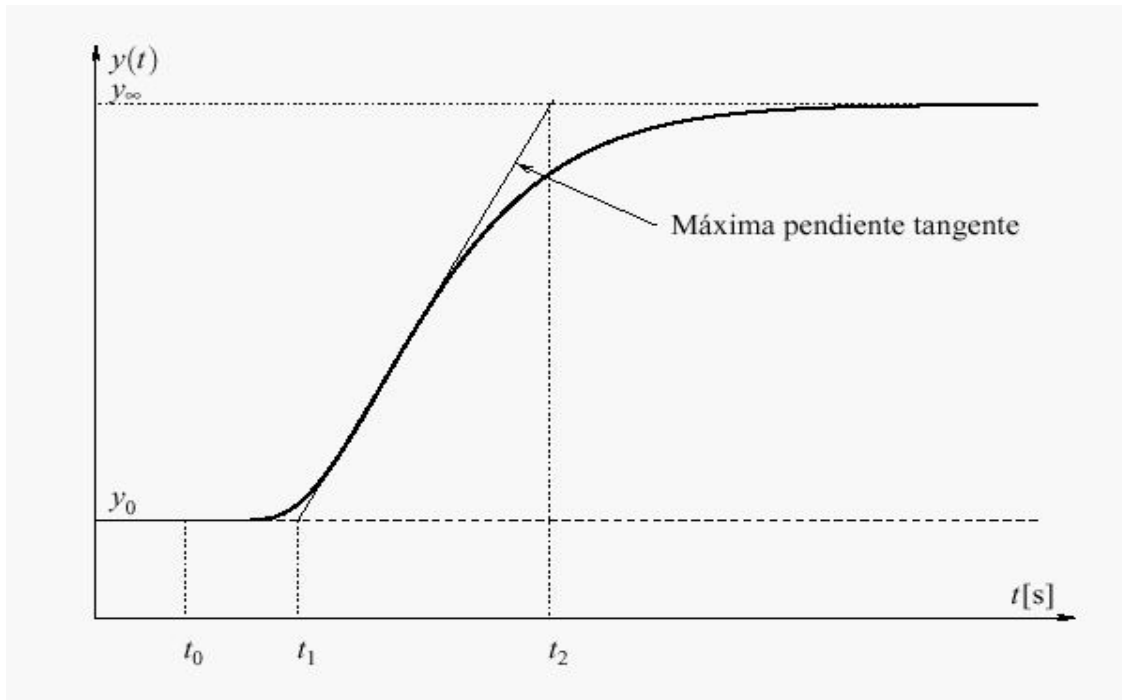


Figura 9. Respuesta a lazo abierto de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Ziegler-Nichols.

Respuesta al escalón (**curva de reacción**) en lazo abierto de la planta.

Los parámetros del controlador PID propuestos por Ziegler y Nichols a partir de la curva de reacción se determinan del Cuadro 2.

	K_p	T_r	T_d
P	$\frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0}$		
PI	$\frac{0.9\gamma_0}{K_0 \tau_0}$	$3\tau_0$	
PID	$\frac{1.2\gamma_0}{K_0 \tau_0}$	$2\tau_0$	$0.5\tau_0$

Cuadro 2: Parámetros de controladores PID según el método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

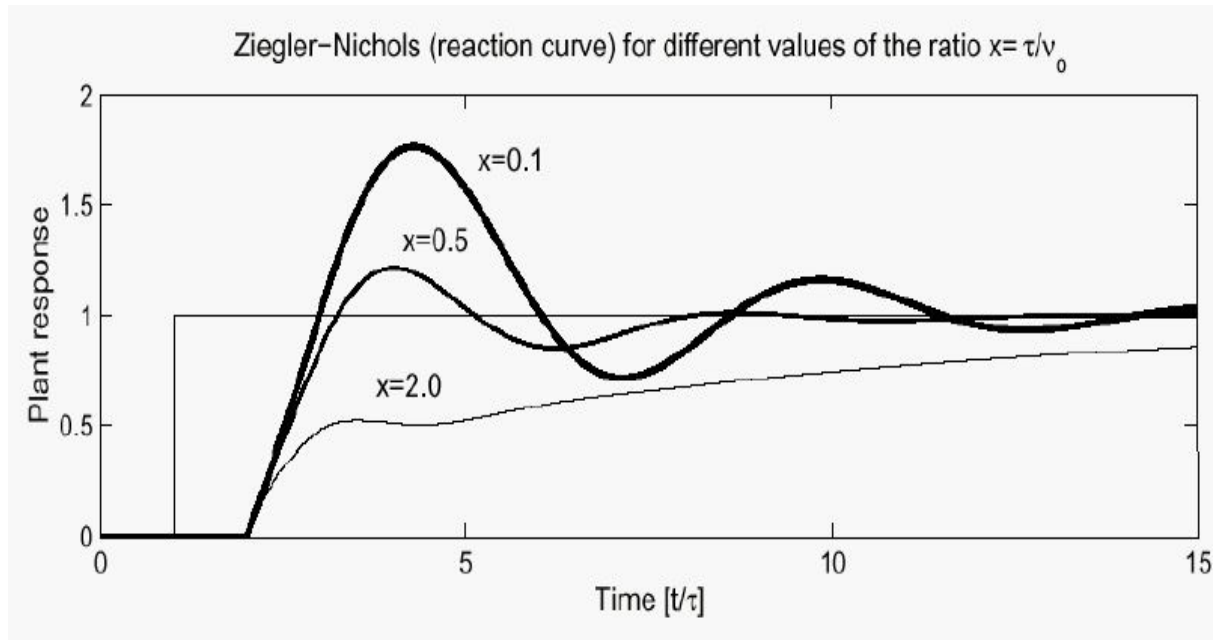


Figura 10. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Ziegler-Nichols.

Método de la curva de reacción de Cohen-Coon

La Figura 10 muestra que el ajuste de Ziegler y Nichols para la curva de reacción es muy sensible a variaciones de τ/γ_0 . Cohen y Coon desarrollaron una tabla modificada para mejorar esta limitación usando datos del mismo ensayo.

	K_p	T_r	T_d
P	$\frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0}$		
PI	$\frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0} \left(0.9 + \frac{\tau_0}{12 \gamma_0} \right)$	$\frac{\tau_0 (30 \gamma_0 + 3 \tau_0)}{9 \gamma_0 + 20 \tau_0}$	
PID	$\frac{\gamma_0}{K_0 \tau_0} \left(\frac{4}{3} + \frac{\tau_0}{4 \gamma_0} \right)$	$\frac{\tau_0 (32 \gamma_0 + 6 \tau_0)}{13 \gamma_0 + 8 \tau_0}$	$\frac{(4 \gamma_0 \tau_0)}{11 \gamma_0 + 2 \tau_0}$

Cuadro 3: Parámetros de controladores PID según el método de la curva de reacción de Cohen-Coon

La Figura 11 muestra la respuesta de lazo cerrado con el ajuste Cohen-Coon. Aunque aún es sensible a $x = t/g_0$, la respuesta es mucho más homogénea que con el ajuste Ziegler-Nichols.

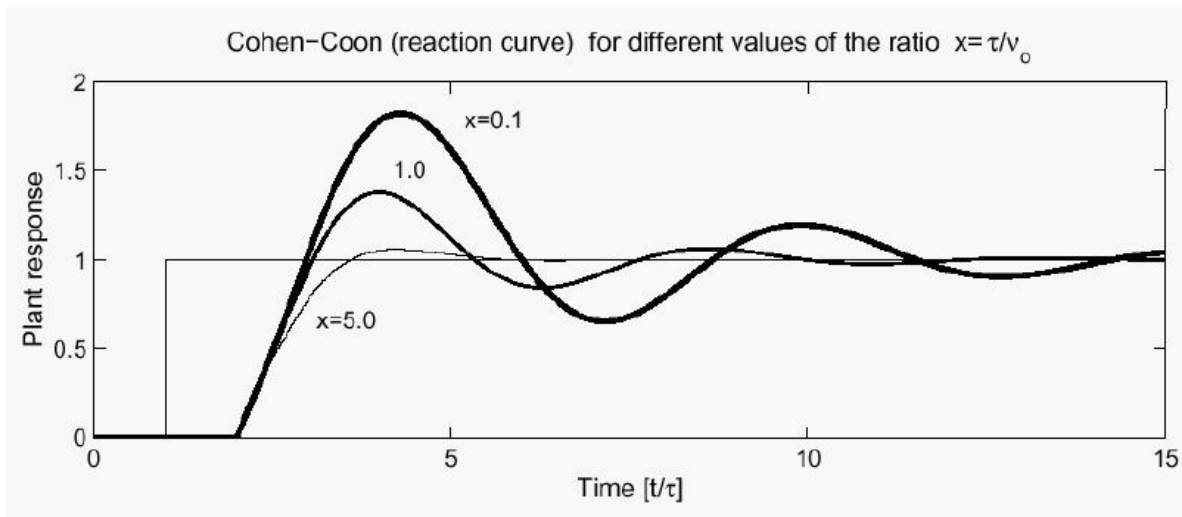


Figura 11. Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado por método de curva de reacción de Cohen-Coon.

2.3 Control de velocidad

2.3.1 PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

Un controlador para un motor comercial simplemente es un circuito que altera la velocidad del motor para el cual tenemos una 'guía de uso' del controlador que explica la mayoría de las características que son incorporadas en los controladores modernos.

Para controlar la velocidad de un motor d.c. se necesita un voltaje variable d.c. de la fuente de alimentación. Sin embargo si usamos un motor de $12V_{dc}$ y se conecta la alimentación, el motor empezará a aumentar su velocidad: los motores no responden inmediatamente, necesitan un pequeño intervalo de tiempo para alcanzar su velocidad máxima. Si apagamos la alimentación en algún momento antes de que el motor alcance su máxima velocidad, notaremos una disminución de esta. Si encendemos la alimentación y la apagamos rápidamente, el motor tomará una velocidad comprendida entre velocidad cero y velocidad máxima. Esto es exactamente lo que hace un controlador de PWM; alimenta el motor suministrándole una serie de pulsos. Para controlar la velocidad del motor se varía (modula) la anchura de los pulsos - Modulación de Anchura de Pulsos.

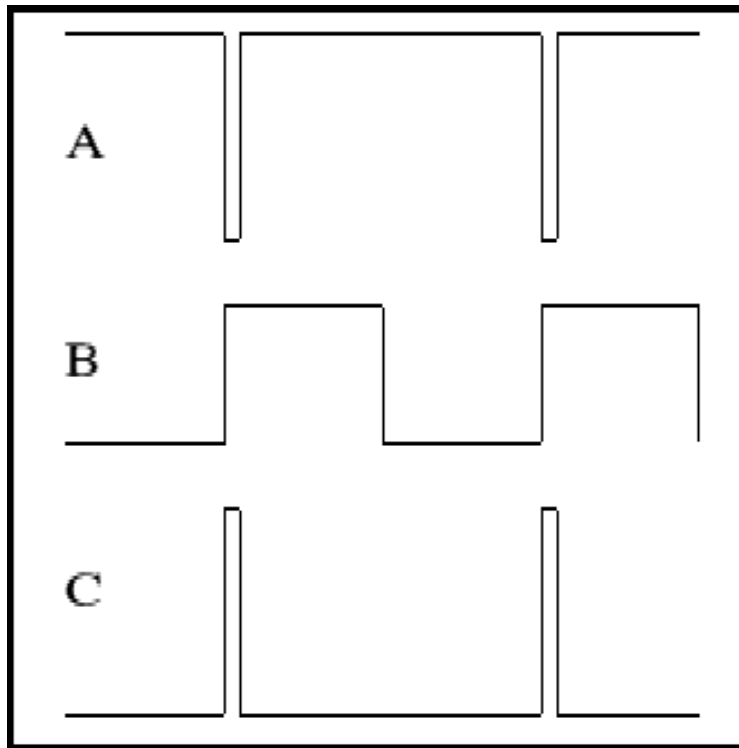


Figura 12. PWM, Modulación por ancho de pulso.

Considerando las formas de onda mostradas en la figura 12, si el motor se conecta mediante un extremo a alimentación positiva y el otro extremo a negativa a través de un interruptor (transistor de potencia o similar), entonces si el interruptor está conduciendo durante un periodo corto y apagado durante mucho tiempo, como en A, el motor girará despacio. En B el interruptor está conduciendo el 50% y apagado el 50%. En C el motor está conduciendo

durante la mayoría del tiempo y apagado sólo un tiempo corto, para que la velocidad sea casi la máxima. En un controlador de bajo voltaje, en la práctica, el interruptor se abre y cierra a unos 20kHz (20 mil veces por segundo). Esto es demasiado rápido para que un pobre y viejo motor se de cuenta de que se le esta conectando y desconectando la alimentación: piensa que es alimentado mediante un autentico voltaje d.c. También es una frecuencia por encima del rango audible, para que cualquier ruido emitido por el motor sea oído. Es también bastante rápido para que un interruptor pueda conmutar fácilmente a esa frecuencia.

2.3.2 Trozador directo o reductor de tensión

En la figura 13 se muestra el esquema eléctrico de un trozador directo que es capaz de suministrar una tensión de c.c. ajustable v_o a una carga genérica (por ejemplo, un motor de c.c. definido por un R, una L y una f.c.e.m. E) a partir de una fuente de c.c. de amplitud constante V_s , de tal modo que se cumple esta limitación: $V_{cc} \leq V_s$ (donde V_{cc} representa el valor medio de la tensión continua de salida); S1 puede ser un transistor bipolar de unión, un MOSFET de potencia, un GTO e incluso un tiristor con conmutación forzada; D1 es un diodo rectificador.

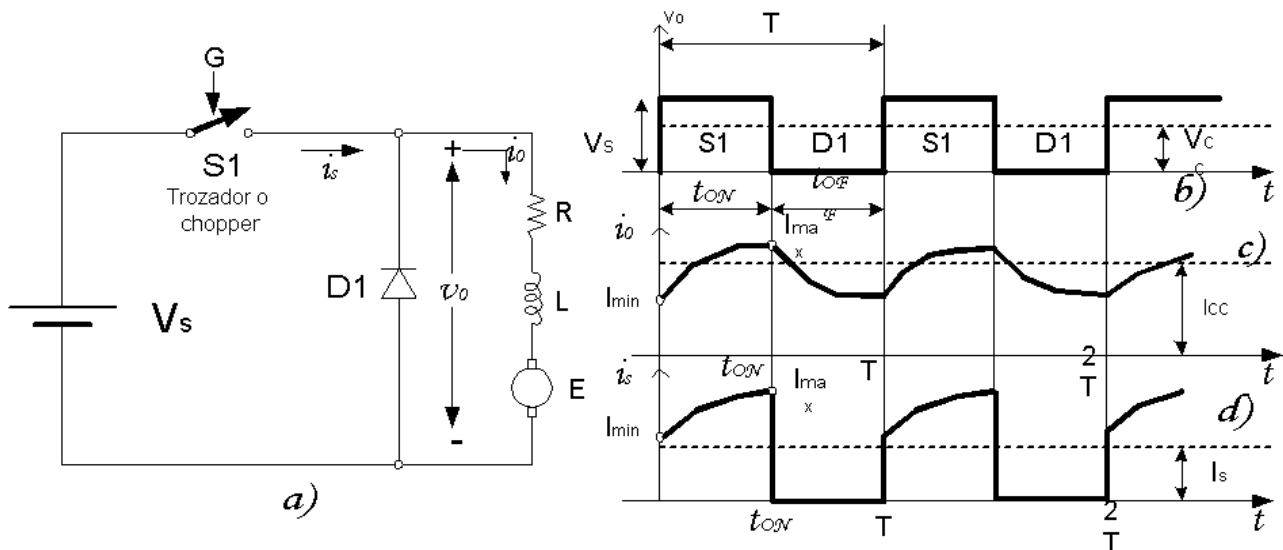


Figura 13. Trozador directo

Supóngase una condición inicial para la cual la corriente de la carga es I_{min} y que S_1 está apagado. Cuando en $t = 0$ se enciende S_1 , la tensión de alimentación V_s se conecta a la carga y por tanto $v_o = V_s$; tal como se muestra en la figura 13b, el diodo D_1 queda polarizado en inverso y la intensidad circula por la carga. El tiempo durante el cual está cerrado S_1 se denomina tiempo de encendido t_{ON} . Durante este tiempo, y siempre que $V_s > E$, se produce un aumento exponencial de la corriente de carga regido por la ecuación:

$$V_s = Ri_0 + L \frac{di_0}{dt} + E \quad (6)$$

cuya solución, teniendo en cuenta que $i_0(t) = I_{\min}$, es de la forma:

$$i_0(t) = I_{\min} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{V_s - E}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (7)$$

donde $\zeta = L/R$ es la constante de tiempo del circuito. En la figura 13c se muestra la forma de onda de la corriente anterior, cuya solución es válida para $0 \leq t < t_{ON}$. En el instante $t = t_{ON}$ se bloquea el interruptor estático S1 aplicando una señal al electrodo de control G. La corriente habrá alcanzado un valor máximo $i_0(t=t_{ON})=I_{\max}$. En ese momento, debido al apagado de S1, la corriente de la carga se cierra por el diodo volante D1 cortocircuitando la tensión de la carga, por lo que $v_0 = 0$; esta situación continúa hasta $t = T$. La corriente es este período de tiempo responde a la solución de la ecuación:

$$0 = Ri_0 + L \frac{di_0}{dt} + E \quad (8)$$

que tomando la condición inicial $i_0(t=0)=I_{\max}$ y redefiniendo el origen de tiempos a partir de $t = t_{ON}$ da lugar a la siguiente solución:

$$i_0(t) = I_{\max} e^{-t/\tau} - \frac{E}{R} \left(1 - e^{-t/\tau} \right) \quad (9)$$

cuya expresión es válida para $t_{ON} \leq t < T$. La corriente en la carga va disminuyendo con el tiempo y al final de este período tendrá un valor $i_0(t = t_{OFF} = T - t_{ON})=I_{\min}$, como así se indica en la figura 13c. En $t=T$, el interruptor S1 se vuelve a encender nuevamente y el ciclo se repite indefinidamente. En la figura 13b se muestra la forma de onda de la tensión en la carga y en la figura 13c la onda de corriente que se ha supuesto que su valor nunca pasa por cero, lo que supone un modo de funcionamiento continuo (y que se consigue en la práctica siempre que se cumpla que $L/R \gg T$). Se observa que la tensión de alimentación de carga v_0 es un recorte de la tensión de alimentación de c.c V_s , y de ahí el nombre de este tipo de convertidores: chopper en inglés, recortadores o troceadores en castellano. El valor medio de la tensión en la carga se obtiene fácilmente de la figura 13b, resultando ser:

$$V_{CC} = \frac{1}{T} t_{ON} V_s = k V_s; \text{ donde } k = \frac{t_{ON}}{T} \quad (10)$$

en el que el parámetro k define el ciclo de trabajo del troceador. La corriente media en la carga I_{cc} viene dada por:

$$I_{CC} = \frac{V_{VV} - E}{R} \quad (11)$$

donde V_{cc} es el valor medio de la tensión en la carga expresada en (10). Como quiera además que la corriente de alimentación I_S es igual a la corriente de carga I_0 durante el período ON y cero durante el período OFF, como se muestra en la figura 13d, su valor medio será:

$$I_S = \frac{t_{ON}}{t} I_{CC} \quad (12)$$

De este modo, y teniendo en cuenta además (10), se puede escribir:

$$\frac{V_S}{V_{CC}} = \frac{I_{CC}}{I_S} = \frac{T}{t_{ON}} = \frac{1}{k} \quad (13)$$

que expresa el principio de conservación de la energía del troceador ($V_S I_S = V_{CC} I_{CC}$), es decir, la potencia suministrada por la fuente es igual a la potencia absorbida por la carga. De acuerdo con (13), el troceador directo se puede considerar como un transformador de corriente continua con un primario de tensión V_S y corriente I_S y un secundario de tensión V_{CC} y corriente I_{CC} , de tal modo que la relación de transformación, de acuerdo con (13) es igual a $1/k$.

El período de las señales dibujadas en la figura 13 es el inverso de la frecuencia ($T = 1/f$), donde f es la frecuencia en Hertz del interruptor recortador o troceador. Las frecuencias de conmutación prácticas dependen del tipo y tamaño del interruptor estático utilizado. Los valores típicos están comprendidos en el rango de 0.2 a 1 kHz para dispositivos de alta corriente. En algunos dispositivos conviene utilizar una frecuencia de conmutación superior a 20 kHz para evitar el ruido audible que producen las fuerzas magnéticas oscilantes del sistema. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las pérdidas de potencia en el interruptor estático aumentan con la frecuencia de conmutación.

2.4 Controladores.

Clasificación de los controladores:

Por su tipo de variable de proceso:

- Continuo: Son los sistemas capaces de controlar un proceso continuamente y se caracterizan por poder ajustar la variable de proceso en diferentes valores de su rango de operación.
- Discretas: Son los sistemas que solo tienen dos estados de acción sobre el proceso Encendido o Apagado (todo o nada).

Se construyen ampliamente por medio de relés o de compuertas lógicas, pero también se pueden hacer de diferentes tipos (mecánicos, neumáticos, etc).

Por su construcción física:

- Mecánicos: Usan mecanismos de transmisión de desplazamientos y fuerzas (engranajes, palancas, etc).
- Neumáticos: Usan sistemas de presión de gas para emitir y modificar valores de señales de procesos, se usan válvulas como elemento actuador y final de control.
- Electrónicos:
 - Analógicos: Compuesto de elementos electrónicos analógicos solamente como diodos, transistores y amplificadores.
 - Digital: Compuesto de elementos de la electrónica digital (compuertas, memoria y microprocesadores) con un conversor de señales analógica a digital y viceversa si procesan señales continuas.

Por su forma de control: Se refiere a la dependencia que tiene el controlador respecto a la sala de supervisión.

- **Control centralizado:** Es cuando la toma de decisión para todos los procesos están bajo la supervisión y control de un solo controlador o de una única sala de control. Si por alguna razón se interrumpe la comunicación entre el controlador y los procesos o si falla el controlador centralizado, quedan fuera de control todos los procesos que están bajo la acción de dicho controlador.
- **Control distribuido:** Es cuando la toma de decisiones de los procesos están distribuidas en pequeños controladores y estos solo envían un reporte periódico a la sala de supervisión.

Control de procesos continuo:

Para controlar un proceso continuo se requiere que el controlador pueda ejercer una acción continua al elemento final de control la cual a su vez actúa directamente sobre el proceso.

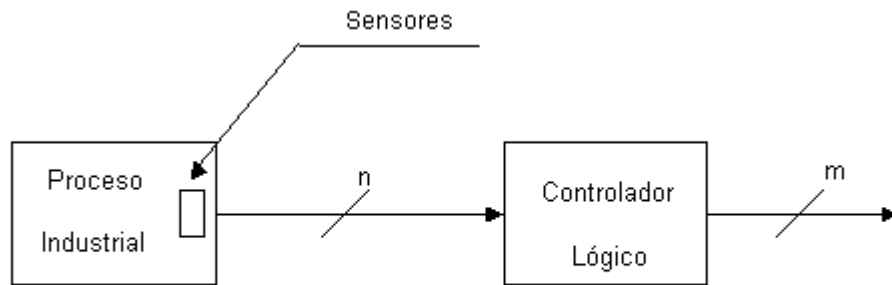
Por lo general los pasos del ciclo para hacer una acción de control son los siguientes:

- Leer la variable de proceso
- Comparar con el valor deseado punto de ajuste (SET-POINT).
- Al valor de la comparación (llamado error) se le aplica una acción de control.
- Emitir el valor de la acción al elemento final de control.

Controladores lógicos:

En numerosas instalaciones industriales es necesario automatizar un proceso actuando sobre una o más salidas digitales en función del estado o del cambio de estado de unas variables binarias. Un sistema que realiza esta función recibe el nombre de controlador lógico (logic controller), porque toma decisiones mediante la observación de variables binarias.

En la Fig. 14 se representa el esquema de la conexión de un controlador lógico a un proceso industrial que genera, a través de los sensores adecuados, un número n de variables binarias. Dichas variables se conectan al controlador que genera a partir de ellas m variables de salida.

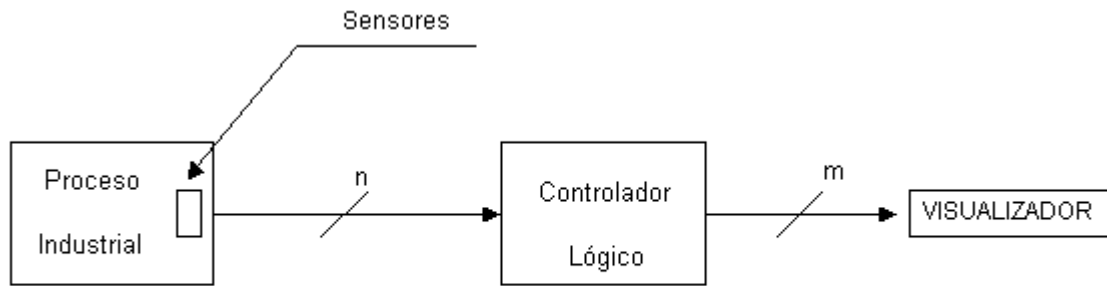


Conexión de un controlador lógico a un proceso industrial

Figura 14. Conexión de un controlador lógico a un proceso industrial.

De acuerdo con la forma en que se utilizan las variables de salida se tiene:

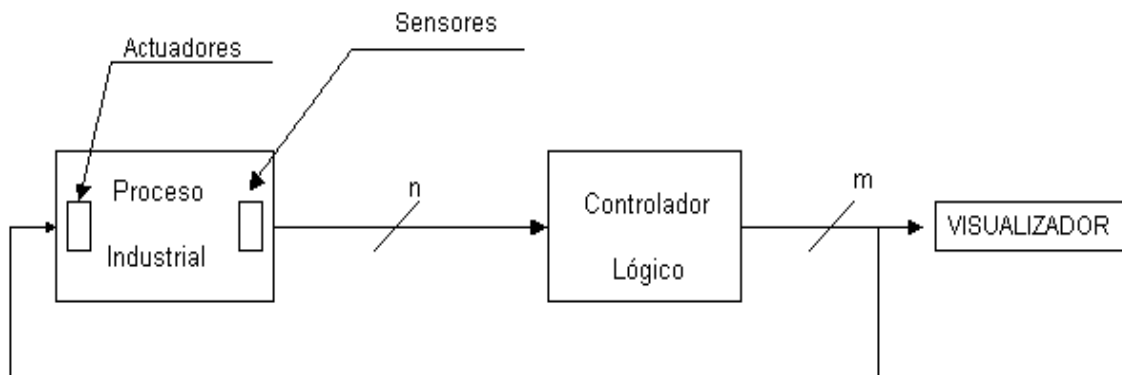
a) Si las variables de salida del controlador simplemente se visualizan para dar información a un operador humano (Fig. 15) se tiene un sistema de control en bucle abierto.



Controlador lógico conectado a un bucle abierto

Figura 15. Controlador lógico conectado a lazo abierto.

b) Si las variables de salida actúan sobre el proceso industrial, a través de los correspondientes actuadores, se tiene un sistema de control en bucle cerrado (Fig. 16).



Controlador lógico conectado a un bucle cerrado

Figura 16. Controlador lógico conectado a lazo cerrado.

Según su modo de operación los controladores lógicos se pueden clasificar de la forma siguiente:

Controladores lógicos:

Combinacionales

Secuenciales:

Asíncronos
Síncronos

Controlador lógico programable (PLC):

Arquitectura interna del autómeta

Un autómeta programable industrial (API) es un equipo electrónico de control con un cableado interno (hardware) independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico (software) que contiene la secuencia de operaciones a realizar. Esta secuencia de operaciones se define sobre señales de entrada y salida al proceso, cableadas directamente en los bornes de conexión del autómeta.

Las señales de entrada pueden proceder de elementos digitales, como finales de carrera y detectores de proximidad, o analógicos, como sensores de temperatura y dispositivos de salida en tensión o corriente continuas.

Las señales de salida son órdenes digitales todo o nada o señales analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, como lámparas, contactores, válvulas, etc.

El autómeta gobierna las señales de salida según el programa de control previamente almacenado en una memoria, a partir del estado de las señales de entrada.

Este programa se introduce en el autómeta a través de la unidad de programación, que permite además funciones adicionales como depuración de programas, simulación, monitorización, control del autómeta, etc.

Una característica diferenciadora del API frente a otros sistemas de control programables está en la estandarización de su hardware, que permite la configuración de sistemas de control «a medida», según las necesidades estimadas de potencia de cálculo y número y tipo de señales de entrada y salida.

El autómeta se configura alrededor de una unidad central o de control, que, unida por medio de buses internos a las interfaces de entrada y salida y a las memorias, define lo que se conoce como arquitectura interna del autómeta.

Según las soluciones constructivas adoptadas, esta arquitectura puede tomar distintas configuraciones.

Bloques esenciales de un autómeta

Un autómeta programable se compone esencialmente de los siguientes bloques (figura 17):

- Unidad central de proceso o de control, CPU.
- Memorias internas.
- Memoria de programa.
- Interfaces de entrada y salida.
- Fuente de alimentación.

Diagrama de bloques de un autómata programable.

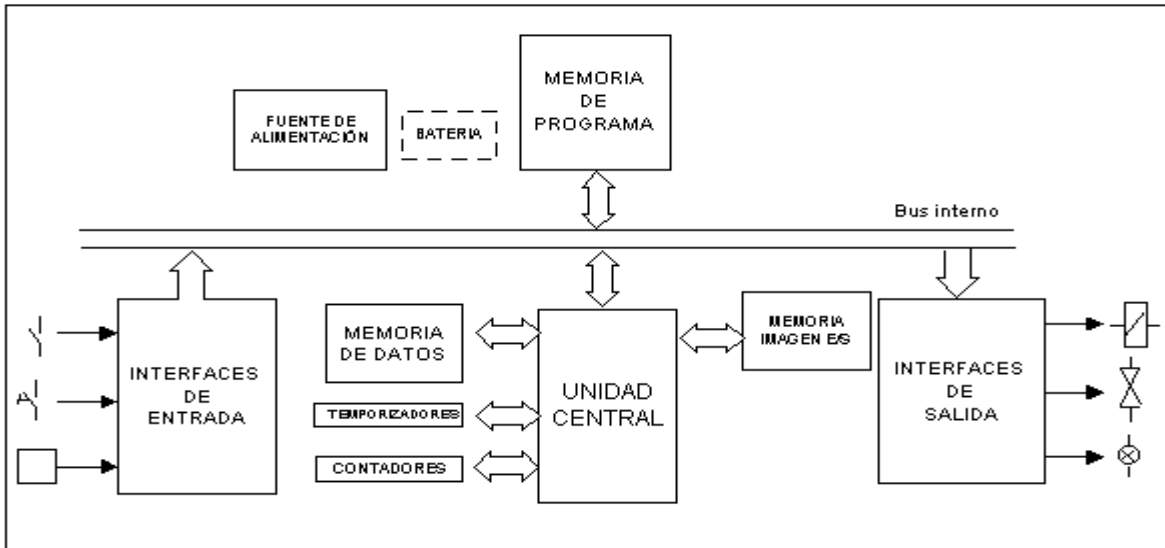


Figura 17. Bloques de un autómata programable.

La *unidad de control* consulta el estado de las entradas y recoge de la memoria de programa la secuencia de instrucciones a ejecutar, elaborando a partir de ella las señales de salida u órdenes que se enviarán al proceso. Durante la ejecución del programa, las instrucciones son procesadas en serie, una tras otra.

La unidad de control es también la responsable de actualizar continuamente los temporizadores y contadores internos que hayan sido programados.

La *memoria* del autómata contiene todos los datos e instrucciones que necesita para ejecutar la tarea de control.

La *memoria interna* es la encargada de almacenar datos intermedios de cálculo y variables internas que no aparecen directamente sobre las salidas, así como un reflejo o imagen de los últimos estados leídos sobre las señales de entrada o enviados a las señales de salida.

La *memoria de programa* contiene la secuencia de operaciones que deben realizarse sobre las señales de entrada para obtener las señales de salida, así como los parámetros de configuración del autómata. Por ello, si hay que introducir alguna variación sobre el sistema de control basta generalmente con modificar el contenido de esta memoria.

Las *interfaces de entrada y salida* establecen la comunicación del autómata con la planta,

Para ello, se conectan, por una parte, con las señales de proceso a través de los bornes previstos y, por otra, con el bus interno del autómeta. La interfaz se encarga de adaptar las señales que se manejan en el proceso a las utilizadas internamente por la máquina,

La *fente de alimentación* proporciona, a partir de una tensión exterior, las tensiones necesarias para el buen funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del sistema. En ocasiones el autómeta puede disponer de una batería conectada a esta fuente de alimentación, lo que asegura el mantenimiento del programa y algunos datos en las memorias en caso de interrupción de la tensión exterior.

Se conoce como *bus interno* al conjunto de líneas y conexiones que permiten la unión eléctrica entre la unidad de control, las memorias y las interfaces de entrada y salida. Un bus se compone de un conjunto de hilos o pistas utilizadas para intercambiar datos u órdenes (por ejemplo, el contenido de celdas de memoria o las instrucciones de la unidad de control).

Para minimizar el número de conexiones y dado que la unidad de control, que organiza el tráfico por estos hilos, sólo puede comunicarse con sus periféricos de una forma secuencial, uno tras otro, el conjunto de hilos del bus es común y compartido por todos ellos.

Esta estructura exige que en todo momento sólo pueda haber un periférico ocupando el bus, ya que de lo contrario se mezclarían los datos enviados por varios de ellos o se recibirían en un periférico datos que no le corresponden.

Los tres buses característicos de un sistema digital son, bus de datos, por el que tienen lugar las transferencias de datos del sistema, bus de direcciones, a través del cual se direccionan la memoria y el resto de los periféricos, y bus de control, constituido por todas las conexiones destinadas a gobernar los intercambios de información, se reunifican en el autómeta en uno sólo, que recibe el nombre de bus interno. El número de líneas de este bus depende de cada fabricante.

Se considera también como bus del autómeta cualquier conexión entre bloques o módulos que no necesite de procesadores específicos de comunicaciones en sus extremos, como, por ejemplo, el cable de conexión entre el autómeta y una unidad externa de expansión de E/S.

Ciclo de funcionamiento del autómeta y control en tiempo real

Los autómetas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta: al detectarse cambios en las señales, el autómeta reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia de operación del autómatas se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.

A fin de optimizar los tiempos de acceso a las interfaces E/S, se realiza la lectura y escritura de señales simultáneamente para todas las entradas y salidas implicadas, de forma que las entradas leídas se almacenan en una memoria temporal o memoria imagen de entradas, a la que acude la CPU durante la ejecución del programa, mientras que los resultados o señales de mando se van almacenando en otra memoria temporal, o memoria imagen de salidas, según se van obteniendo. Finalizada la ejecución, estos resultados se colocan en la interfaz de salida de una sola vez.

El autómatas realiza también una serie de acciones comunes que garantizan la seguridad en el funcionamiento, como son los chequeos de memoria y de CPU, comprobación del «watchdog» o reloj de guarda, etc.

Además, y eventualmente, establece comunicación con periféricos exteriores, por ejemplo para volcado de datos en impresora, comunicación con otros autómatas u ordenadores, conexión con la unidad de programación, etc.

Todas estas acciones se van repitiendo periódicamente, definiendo un ciclo de operación que necesita de un cierto tiempo para ser ejecutado. Este tiempo será determinante cuando el autómatas pretenda controlar procesos rápidos, con señales de muy corta duración o alta frecuencia de conmutación.

El funcionamiento del autómatas es, salvo el proceso inicial que sigue a un Reset, de tipo secuencial y cíclico, es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra, y se van repitiendo continuamente mientras el autómatas esté bajo tensión.

En la figura 18 se muestra esquemáticamente la secuencia de operaciones que ejecuta el autómatas, sobre la que se define el llamado ciclo de operación con aquellas que se repiten indefinidamente.

Como se muestra en la figura 18, antes de entrar en el ciclo de operación el autómatas realiza una serie de acciones comunes («power-on sequence»), que tratan fundamentalmente de inicializar los estados del mismo y de chequear el hardware.

Estas rutinas de chequeo, incluidas en el monitor ROM, comprueban:

- el bus de conexión de las unidades de E/S,
- el nivel de la batería, si ésta existe,
- la conexión de las memorias internas del sistema
- el módulo de memoria exterior conectado, si existe.

Si se encuentra algún error en el chequeo, se activa el LED de error y queda registrado el

código del mismo. El funcionamiento puede quedar interrumpido en ese punto, según la gravedad del error.

Comprobadas las conexiones, se inicializan las variables internas:

- se ponen a OFF las posiciones de memoria interna (excepto las mantenidas o protegidas contra pérdidas de tensión),
- se borran todas las posiciones de memoria imagen E/S,
- se borran todos los contadores y temporizadores (excepto los mantenidos o protegidos contra pérdidas de tensión).

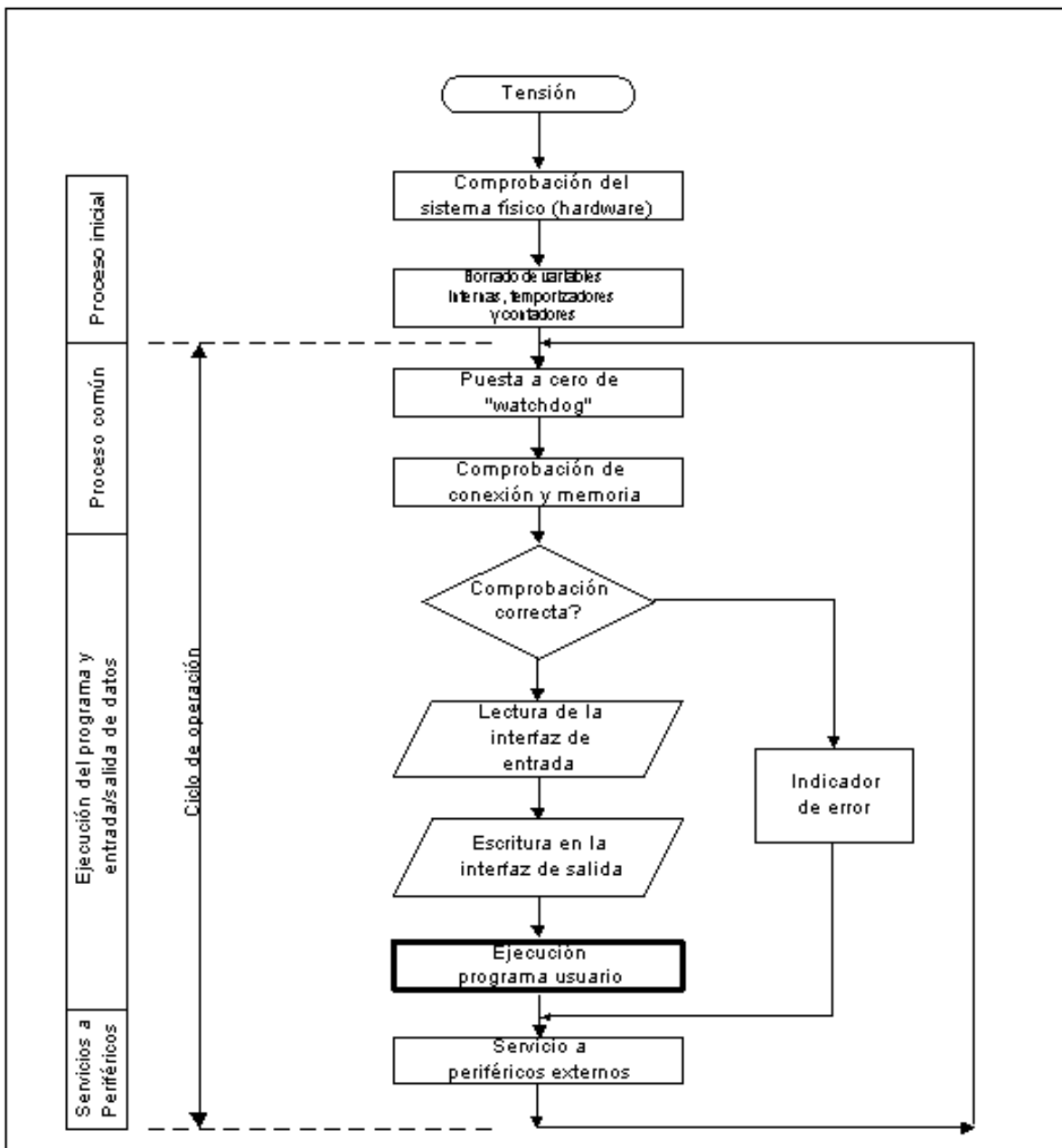


Figura 18. Ciclo de funcionamiento del autómata.

El tiempo total empleado en ejecutar estas rutinas de inicialización es siempre menor que 1 segundo.

Modos de operación

Un autómata bajo tensión puede mantenerse en uno de los siguientes estados de funcionamiento (modos de operación):

RUN: El autómata ejecuta normalmente el programa de usuario contenido en su memoria.

- Las salidas evolucionan ON/OFF según el estado de las entradas y las órdenes del programa.
- Los temporizadores y contadores programados operan con normalidad.

STOP: La ejecución del programa se detiene por orden del usuario.

- Las salidas pasan a estado OFF.
- Las posiciones internas (relés, registros), contadores y temporizadores mantienen su estado en memoria interna.
- En el paso a RUN, todas las posiciones internas, excepto las mantenidas, o protegidas contra pérdidas de tensión, pasan a estado OFF.

ERROR: El autómata detiene la ejecución por un error de funcionamiento y queda bloqueado hasta que se corrige el error.

- las salidas pasan a estado OFF.
- corregido el error, el autómata sale de este modo bien por reset de puesta en tensión u ordenado desde la CPU, bien por comando enviado desde la unidad de programación.

El modo STOP es normalmente utilizado para servicios de mantenimiento o diagnóstico, al congelar el funcionamiento del autómata sin pérdida de la información contenida en su interior, que puede entonces ser visualizada desde la unidad de programación.

El modo de operación del autómata puede ser controlado desde conmutadores situados en la misma CPU, o desde la unidad de programación, con el envío de los comandos adecuados.

Tiempo de ejecución y control en tiempo real

El tiempo total que el autómata emplea para realizar un ciclo de operación se llama *tiempo de ejecución de ciclo* o más sencillamente *tiempo de ciclo* («Scan Time»). Dicho tiempo depende de:

- el número de entradas/salidas involucradas, la longitud del programa de usuario,
- el número y tipo de periféricos conectados al autómata.

El tiempo total de ciclo es entonces la suma de los tiempos empleados en realizar las distintas operaciones del ciclo, a saber:

- autodiagnósticos,

- actualización de E/S,
- ejecución (escrutación) del programa,
- servicio a periféricos.

Los tiempos empleados en chequeos y comprobaciones cíclicas (autodiagnósticos) son del orden de 1 a 2 ms al igual que los consumidos en la atención a periféricos externos.

Los tiempos de ejecución de instrucciones se miden en unidades de microsegundos (μs), resultando un tiempo de escrutación del programa variable en función del número y tipo de instrucciones contenidas. Precisamente, el tiempo de escrutación es uno de los parámetros que caracterizan a un autómata, expresado normalmente en milisegundos por cada mil instrucciones (ms/K).

Lógicamente, el tiempo resultante dependerá del tipo de instrucciones elegidas, por lo que el fabricante suele indicar las utilizadas como base de cálculo (booleanas, aritméticas, de temporización, etc.), y las proporciones entre ellas dentro del programa muestra. Son tiempos típicos de 5 a 15 ms/K instrucciones, aunque la aplicación de nuevas tecnologías y diseños a la CPU están reduciendo los tiempos a valores menores de 1 ms/K instrucciones.

Los tiempos de acceso al exterior para lectura/escritura de datos son del orden de 1 a 5 ms, dependiendo del número de E/S involucradas, de la CPU del autómata, de si éste es compacto o modular, si se utilizan o no entradas/salidas remotas, etc.

En un autómata estándar de gama media, para una aplicación que necesite aproximadamente unas 1000 instrucciones, el tiempo de ciclo total puede, por tanto, estimarse del orden de 20 milisegundos.

Este tiempo de ciclo será uno de los factores determinantes en el diseño del sistema de control cuando en éste aparezcan muy bajas constantes de tiempo (sistemas de respuesta rápida), pero no el único a considerar, ya que también la electrónica de las interfaces introduce retardos adicionales.

Interfaces de entrada/salida

El control de un proceso requiere siempre un diálogo operador-máquina y una comunicación entre máquina y sistema de control. Para el sistema de control, y más concretamente si éste es un autómata, esto se traduce en que este reciba una serie de señales externas, unas de mando y otras de realimentación que, en conjunto, constituyen las *entradas*. Por otro lado, el operador necesita conocer algunos datos sobre la marcha del proceso y los accionamientos necesitan recibir las órdenes oportunas para controlarlo. Todo ello se realiza a través de las *salidas* del autómata. El conjunto de *entradas/salidas* (abreviadamente E/S) constituyen lo que se denomina a veces «medios de diálogo hombre-máquina y máquina controlador».

Las señales de entrada van desde el simple pulsador o final de carrera, hasta la medición de cualquier magnitud física que intervenga en el proceso. Por otro lado, las salidas pueden

consistir también en señales todo-nada, generalmente actuando sobre relés, electro-válvulas u otros elementos electromecánicos, o señales analógicas o digitales para señalización en instrumentos de medida, visualizadores, impresión de mensajes de alarma, mostrar el estado de los sensores y accionamientos, etcétera.

La característica esencial del autómatas programable (PLC) con respecto a otros tipos de controladores digitales es precisamente su capacidad de comunicación con un entorno exterior en el que se manejan señales de potencia, con tensiones y corrientes de nivel industrial, aunque suelen disponer también de buses de comunicación digital parecidos a los que normalmente incorporan los sistemas informáticos. El autómatas no deja de ser internamente un sistema informático, basado en uno o más microprocesadores y como tal trabaja con circuitos lógicos de pequeña señal. Pero su característica diferencial es que dispone de un bloque de circuitos de interfaz de E/S muy potente, que le permite conectar directamente con los sensores y accionamientos del proceso.

Entradas/salidas digitales

Las interfaces de entrada digitales son aquellas que conectan el autómatas con señales de proceso de tipo binario (conectado/desconectado o abierto/ cerrado), o con grupos de señales binarias formando palabras. En este capítulo vamos a referirnos, sin embargo, a las señales de un solo bit, llamadas también señales lógicas o binarias.

El autómatas programable, como sucesor de muchos sistemas antiguos basados en relés, está especialmente adaptado a las señales binarias, hasta el punto de que ésta es quizás la característica más peculiar que le distingue de otros sistemas de control industriales como puedan ser los de robótica, máquinas-herramienta o incluso de los sistemas informáticos. En realidad, uno de los criterios de clasificación de los autómatas estriba precisamente en el número de entradas/salidas (binarias) y su CPU (unidad central de proceso) suele estar especialmente adaptada al tratamiento de bits.

Las señales de entrada todo-nada proceden, por lo general, de contactos electromecánicos (interruptores, pulsadores, finales de carrera, etc.) y las salidas suelen atacar a bobinas de electroimanes (relés, electroválvulas, etc.). Ambos tienen en común que suelen estar alimentados con tensiones alternas entre 24 y 220 V_{CA}, o tensiones continuas de 24 a 110 V_{CC}. La interfaz para estas señales suele ser básicamente una interfaz de hardware de tipo unidireccional, en el caso de entradas destinada a captar los niveles (alto o bajo) de tensión y convertirlos a niveles lógicos TTL (0 a 5 V) y en el caso de las salidas haciendo la conversión inversa,

Entradas/salidas analógicas

No todos los autómatas programables son capaces de manipular señales analógicas, pero es frecuente que existan módulos de ampliación para los tipos compactos o tarjetas analógicas en los tipos de rack, que si son capaces de tratar dichas señales.

Paralelamente dichos autómatas incorporan ciertas funciones de software (programación), específicas para tratar este tipo de señales y que permiten controlar valores máximos y mínimos de ciertas variables del proceso, realizar cálculos aritméticos o incluso funciones más complejas para control PID, aplicables a servoválvulas, servomotores, control de temperatura, etc.

El procesamiento de datos dentro del PLC es enteramente digital como corresponde a todo sistema basado en un microprocesador y, por tanto, las señales de tipo analógico deben ser previamente digitalizadas para que puedan ser procesadas.

Así pues, para el tratamiento de señales analógicas será preciso ante todo convertir dichas señales a la forma digital. Dicha forma digital consistirá en representar la magnitud de la variable analógica por un número codificado en forma binaria o en forma BCD (Decimal Codificado en Binario).

Recíprocamente, si el API debe suministrar al proceso variables o señales de regulación continuas, deberá previamente convertir los datos internos en forma binaria o BCD a magnitudes de tipo analógico.

Programación del autómata

Hasta el momento, se ha descrito al autómata como una máquina formada por elementos de hardware capaces de comunicarse físicamente con el proceso para:

- recoger el conjunto de variables (digitales y analógicas) que definen el estado del mismo (señales de entrada),
- enviar otro conjunto de variables que modifiquen dicho estado en un sentido predeterminado (señales de salida).

Además, por su atributo de programable, el autómata necesita para su completa adaptación al proceso de un operador humano que defina cómo se quiere la evolución del mismo. Este operador intercambia entonces información con el hardware de autómata para:

- *fijar, mediante una secuencia de órdenes, la ley general de mando*, de la que se obtienen las variables de salida o de control,
- *intervenir*, continuamente o no, *sobre el proceso* para modificar la evolución o, simplemente, para leer su estado.

El primero de los puntos, establecimiento de la secuencia de órdenes, se denomina *programación del autómata*, y a la secuencia establecida, *programa de la aplicación*.

Al segundo punto, intervención del operador sobre el proceso, se le conoce comúnmente como *explotación de la aplicación*, y durante ella se permiten modificar algunos parámetros (tiempo, consignas, módulos de cuenta, etc.), pero no modificar el programa.

La estructura de intercambios múltiples proceso-autómata-usuario está sintetizada en la figura 19. Como se observa, las intervenciones sobre la planta se efectúan a través del autó-

mata, aunque, en algunos casos (por ejemplo, paradas rápidas por motivos de seguridad), el usuario puede actuar directamente sobre el proceso.

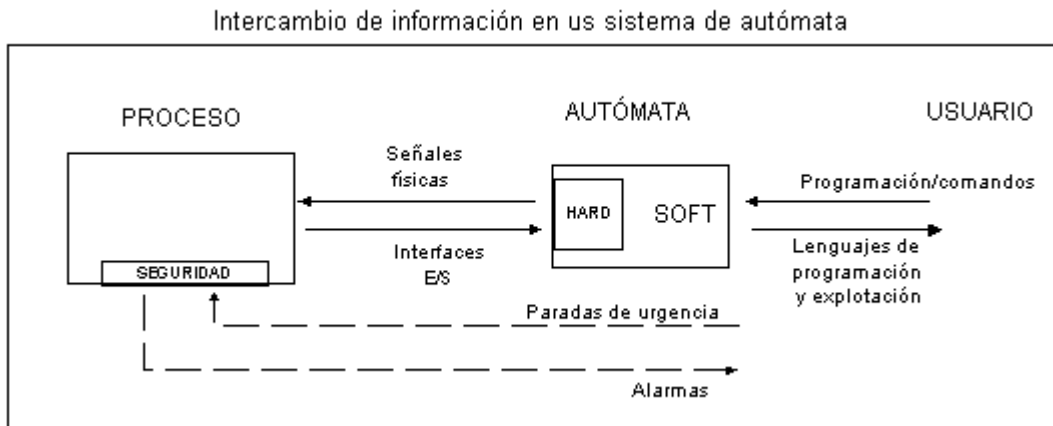


Figura 19. Estructura de intercambios múltiples.

De los intercambios mostrados en la figura, el primero de ellos, de informaciones físicas entre autómeta y proceso, está resuelto mediante el empleo de las interfaces E/S descritas anteriormente, mientras que el segundo, la comunicación con el operador para programación/explotación, necesita de un soporte software que haga el papel de intérprete entre el sistema real y los deseos del usuario.

Así, puede definirse este software como el «conjunto de programas destinados a permitir o facilitar la utilización del hardware para la producción y explotación de las aplicaciones».

Según esta definición, podemos clasificar estas herramientas de software en dos grandes grupos:

- *Sistemas operativos*, residentes en el propio autómeta, que se encargan de establecer las secuencias de intercambios de información, interpretar y ejecutar las órdenes de usuario, y vigilar por el correcto funcionamiento del equipo.
- *Software de edición/depuración* de programas, que permite al usuario la introducción del programa sobre un soporte físico (cinta, disco, memoria de semiconductor), la modificación del mismo en la puesta a punto, la obtención de la documentación pertinente, y la creación de copias de seguridad.

Este software de edición/depuración está instalado (es residente) o es instalable sobre un terminal especial, la unidad de programación, de funcionamiento autónomo o supeditado al del autómeta.

La unidad tiene como funciones principales:

- Soportar la edición y depuración del programa.
- Proporcionar la interfaz física entre el usuario y el autómeta, para transferencias de programas y supervisión y control del proceso.

Los intercambios de información entre los elementos que aparecen en la figura 19 necesitan, en todos los casos de una codificación del mensaje que sea comprensible a las partes que intervienen.

Esta compatibilidad, que el autómata lograba en el lado de planta mediante interfaces adecuadas a las señales emitidas o recibidas, se consigue en el lado del usuario mediante el empleo de los lenguajes de programación y explotación preestablecidos por el fabricante.

Se define, pues, *lenguaje de programación* como el conjunto de símbolos y textos inteligibles por la unidad de programación que le sirven al usuario para codificar sobre un cierto autómata las leyes de control deseadas, mientras que *lenguaje de explotación* será el conjunto de órdenes y comandos que el usuario puede enviar, desde la misma unidad o desde un terminal adecuado, para recoger estados o modificar variables del proceso.

Como se observa en la definición, el lenguaje de programación se define entre el usuario y la unidad de programación: la compatibilidad entre ésta y el autómata está asegurada por el fabricante del mismo, que lo es también de la unidad, o del software que se instala sobre ella si es una máquina de aplicación general, como un PC compatible.

En definitiva, el usuario introduce su *ley de mando* en la unidad de programación mediante un programa (secuencia de órdenes) codificado según un lenguaje (conjunto de símbolos) inteligible para ambos.

La unidad de programación *compila* o *convierte* el programa a los códigos binarios que realmente entiende el autómata, y los transfiere y deposita en la memoria del mismo.

Estos códigos binarios son después *interpretados* por el sistema operativo residente (firmware) para movilizar los recursos físicos (procesador, interfaces E/S, etc.) necesarios en la ejecución del programa.

Lenguajes de programación

Se ha descrito ya el programa como el conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el autómata a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar la secuencia de control deseada.

Al conjunto total de estas instrucciones, órdenes y símbolos que están disponibles para escribir un programa se le denomina lenguaje de programación del autómata.

Sería deseable que la misma simbología utilizada para representar el sistema de control pudiera emplearse para programar el autómata: el ahorro de tiempo y documentación y la seguridad en el programa obtenido serían considerables.

Sin embargo, esta solución no es siempre posible: el lenguaje depende del autómata empleado y de su fabricante, que decide el tipo de unidad de programación (literal, gráfica) y el intérprete (firmware) que utiliza su máquina, mientras que el modelo de presentación depende del usuario, que lo elige según sus necesidades o conocimientos.

Pese a ello, los lenguajes de programación de autómatas intentan ser lo más parecidos posibles a los modelos de representación usuales, a fin de facilitar la transcripción entre ambos. Así, los lenguajes pueden ser:

Algebraicos

Lenguajes booleanos

Lista de instrucciones

Lenguajes de alto nivel

Gráficos

Diagrama de contactos

Diagrama de funciones/bloques

Intérprete GRÁFCET.

Si la representación elegida para el sistema de control es comprensible por la unidad de programación, no será necesario realizar ninguna codificación, al aceptar ésta los símbolos utilizados. En caso contrario, habrá que *traducirla* a un programa, según uno de los anteriores lenguajes.

El programa obtenido está formado por un conjunto de instrucciones, sentencias, bloques funcionales y grafismos que indican las operaciones a realizar sucesivamente por el PLC.

La *instrucción* representa la tarea más elemental de un programa: leer una entrada, realizar una operación AND, activar una salida, etc.

La *sentencia* representa el mínimo conjunto de instrucciones que definen una tarea completa: encontrar el valor de una función lógica combinación de varias variables, consultar un conjunto de condiciones y, si son ciertas, activar un temporizador, etc.

El *bloque funcional* es el conjunto de instrucciones o sentencias que realizan una tarea o función compleja: contadores, registros de desplazamiento, transferencias de información, etc. Todos estos elementos están relacionados entre sí mediante los símbolos o *grafismos* (algebraicos o gráficos) definidos en el lenguaje empleado.

Cualquiera que sea éste, las instrucciones del programa tienen la siguiente estructura:

Campo de operación Operando(s)

- *Campo de Operación* «¿Que hay que hacer?»
 Tipo de operación:
 Leer una entrada,
 Formar una combinación OR,
 Asignar un resultado, etc.
- *Campo de Operando* «¿Con qué hay que hacerlo?»
 Variable que interviene:

Entrada número 5,
Relé interno número 400,
Palabra digital WRD, etc.

En ocasiones, el campo de operando no contiene el número de variable, sino la dirección de un registro (normalmente, una palabra de cuatro dígitos) donde está contenida la dirección de la variable (direccionamiento indirecto).

CAPITULO III
DISEÑO, DESARROLLO E
IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODULOS
SIMULADORES

DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÓDULOS SIMULADORES

3.1 Antecedentes en el Departamento de Automática

En el departamento de automática de la EIM se viene realizando un trabajo conjunto por parte de los profesores y técnicos del área en pro de una mejor formación profesional para los ingenieros mecánicos egresados de esta casa de estudios.

Fruto de este trabajo ha sido la instalación del laboratorio de instrumentación; se ha conseguido equipar posteriormente el laboratorio de Automatización industrial con gran variedad de equipos y dispositivos para que el estudiante conozca prácticamente cada uno de ellos y puedan realizarse las prácticas necesarias con el fin de afianzar los conocimientos teóricos impartidos en las clases teóricas.

Adicionalmente se ha abierto una nueva materia en el departamento, cuyo nombre actual es “Tópicos especiales en Diseño” pero en ella se enseña a trabajar con PLC, conocimientos básicos de electrónica y las tendencias modernas en comunicación.

Durante el semestre 01 del 2004 se compró una PC con un potencial necesario y suficiente para poder instalar en ella, el software “Experion”, donado por la empresa Honeywell, el cual es un SCADA (Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos). Dicho software permitirá que los estudiantes conozcan y aprendan a manejar un programa que permite controlar y supervisar un proceso, planta o industria, en comunicación con los distintos equipos en campo (PLC, RTU, Transmisores, etc), para ello se adquirieron los PLC telemecanique TSX Micro y se está buscando la manera de adquirir alguna RTU.

Como continuación de este proceso de equipamiento, modernización y adecuación de las materias del área de automática a las nuevas realidades tecnológicas surge este trabajo especial de grado con el objetivo de construir módulos independientes de simulación de procesos industriales. Esta simulación pretende acercarse lo más posible a los procesos industriales reales y para ello se utilizan equipos industriales como: transmisores, transductores, válvulas, bomba etc.

Todos los equipos industriales referidos anteriormente se encontraban integrados en un gabinete de control, el cual no estaba operativo y además no cumplía con las expectativas de los profesores del área ya que en el gabinete se encontraban cuatro procesos industriales diferentes, con lo cual el estudiante no identificaba claramente como estaba constituido cada proceso. Adicionalmente todos los transmisores y transductores y demás equipos

estaban ocultos tras el chasis del gabinete con lo cual el estudiante no sabía qué elemento permitía hacer subir el valor de una variable de proceso ni cual medía dicho valor.

Para solucionar los problemas e inconvenientes que presentaba el gabinete de control se diseñó y construyó cuatro chasis que permitieran instalar cómodamente los procesos y para que a su vez el estudiante pueda tener fácil acceso a todos los elementos constitutivos del mismo. Los chasis construidos están diseñados de perfiles de acero suficientemente robustos para soportar el peso de los diferentes instrumentos; son modulares con lo cual se pueden adaptar para formar diferentes configuraciones.

El acabado superficial es liso, sin rebabas, de forma que se puedan tocar directamente con la piel sin riesgos de que se causen heridas; están pintados uniformemente con pintura electrostática, de buena resistencia a los golpes y excelente cobertura superficial.

En la figura 20 se muestra una foto de los chasis mencionados. El color anaranjado claro de los mismos permite identificar claramente cualquier equipo, etiqueta o dispositivo que se fije sobre su superficie.



Figura 20. Chasis.

El gran beneficio proporcionado por los chasis es que se puede atender a un número mayor de estudiantes que con el gabinete de control; con el gabinete, solamente se podían atender dos estudiantes a la vez dado su diseño compacto; sin embargo los módulos creados permiten cómodamente atender a tres estudiantes por módulo, es decir, que pueden haber en total nueve estudiantes a la vez realizando prácticas, ya que se construyeron tres módulos independientes de simulación.

Para su cómoda utilización se fijó cada chasis sobre mesas independientes que a su vez se le soldaron ruedas, de esta forma cada módulo puede ser movido fácilmente según se necesite, y permitir al estudiante girar el módulo para precisar cómo está cableado todo el proceso.

La programación del PLC se realizó de forma que cada proceso fuera regulado mediante un sistema de control PID, para ello se desarrolló la lógica correspondiente en lenguaje “Diagrama de escalera” que es una de las maneras como puede ser programado este PLC. Los diagramas de escalera correspondientes a cada lazo de control se encuentran en el anexo A5. En la figura 21 mostramos una imagen del PLC TSX Micro ya cableado.



Figura 21. PLC TSX Micro.

Para evitar accidentes como el desbordamiento del Tanque 2, se realizó la programación correspondiente, de forma que bajo ninguna circunstancia normal de funcionamiento esto suceda.

Para que los estudiantes pudieran variar las condiciones de control, es decir, puedan ser controlados los lazos en modo manual o automático y se puedan variar los valores de punto de ajuste y salida del controlador, se necesitaba una consola de diálogo operador modelo CCX17 (Marca Telemecanique). Dicha consola se puede ver en la figura 22.

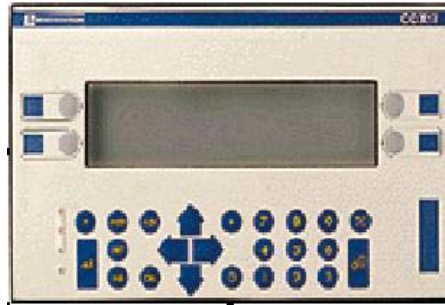


Figura 22. CCX17 Cónsola de diálogo operador.

Dicha consola es suministrada por el fabricante del PLC, pero dado su costo elevado para el presupuesto de la EIM se decidió no comprarla y sustituirla mediante programación. Para ello se utilizó en la programación una secuencia de temporizadores que permiten aumentar o disminuir los valores de punto de ajuste y salida del controlador. Adicionalmente se diseñó una estación de pulsadores, con etiquetas identificadoras, que está constituida por dos pulsadores (aumento y disminución) y un selector de dos posiciones (Modo manual y modo automático) que permiten fácilmente variar los valores mencionados. A continuación se anexa una foto de la estación mencionada.



Figura 23. Estación de pulsadores.

Para el cableado se utilizaron borneras de baquelita, que permiten fácilmente modificar el cableado actual de los procesos; para mayor claridad se identificó cada borne con etiquetas que especifican a qué instrumento corresponde. En la figura 24 se muestran algunas de las borneras.

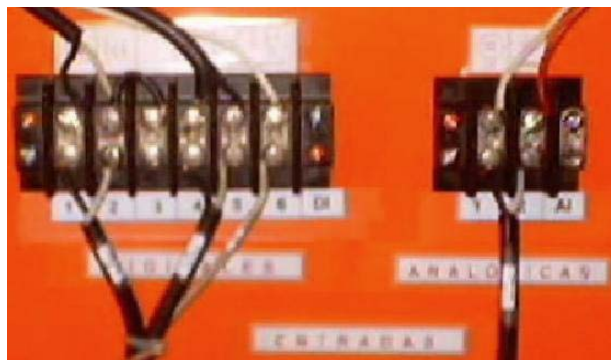


Figura 24. Borneras con etiquetas identificadoras.

3.2 Descripción de los lazos de control.

A continuación se describe el funcionamiento de cada uno de los lazos de control instalados así como los equipos que los forman. A lo largo de la descripción se hace referencia a ciertas válvulas y equipos cuya identificación se encuentra en los diagramas P&ID del anexo A2.

Para que se pueda realizar cualquier modificación o identificar el cableado de los procesos, se ha registrado en qué forma se encuentra realizado dicho cableado; el mismo se encuentra en forma gráfica en el anexo de cableado de los procesos de control A4. Para cualquier duda respecto a cableado por favor referirse al mencionado anexo.

3.2.1 Lazo de temperatura

Elementos que lo forman.

Este lazo está constituido por los siguientes equipos e instrumentos:

- Unidad controladora de potencia y circuito de disparo
- Resistencia eléctrica
- Termocupla tipo J
- Selector de proceso
- Transmisor de temperatura
- Indicador de temperatura
- Controlador lógico programable (PLC Micro)

En la figura 25 mostramos el proceso de temperatura y velocidad ya que ambos se encuentran ubicados sobre el mismo chasis.

Funcionamiento

El controlador (PLC) lleva a cabo el control del proceso según secuencia de comandos programada en memoria. Para ello recibe una señal eléctrica (analógica), que procesa y le permite saber en qué condición está el proceso, para después enviar una señal de salida eléctrica (analógica) que le permite ejercer control sobre la unidad controladora de potencia.

La unidad controladora de potencia utiliza una alimentación de 120 V para calentar una resistencia en función de la señal eléctrica (analógica) recibida del controlador. Adicionalmente esta unidad tiene una unidad de disparo que le permite calentar la resistencia mediante pulsos, para que el control sea mucho más preciso.

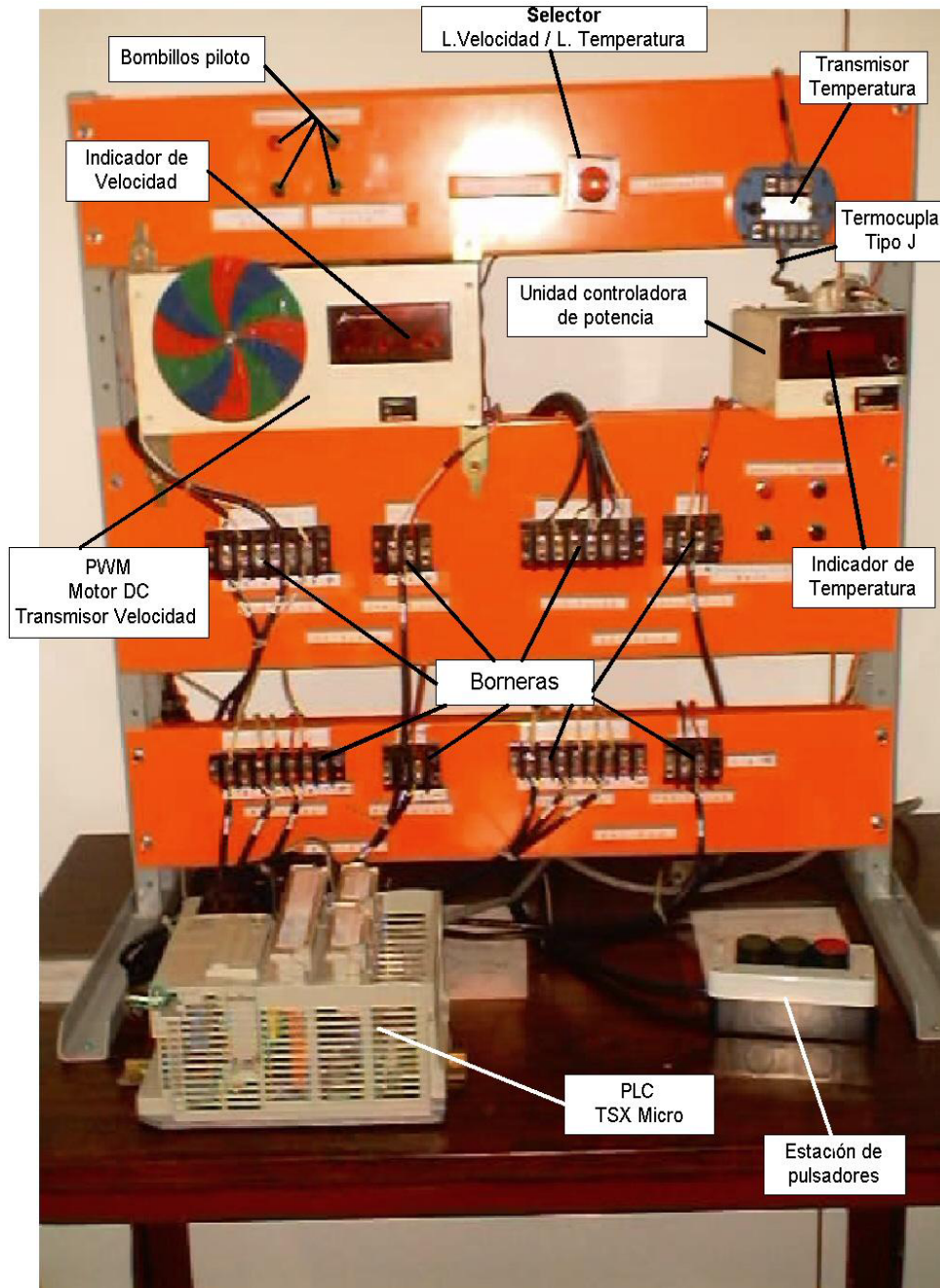


Figura 25. Proceso de Temperatura y Velocidad

En contacto con la resistencia se encuentra una termocupla que conectada a una pantalla digital (display) indica la temperatura en cada momento de la resistencia y conectada a un transmisor de temperatura suministra al PLC la temperatura a que se encuentra el proceso.

En la figura 26 se muestra un diagrama de flujo de proceso para que el lector se haga una idea de cómo funciona el mismo.

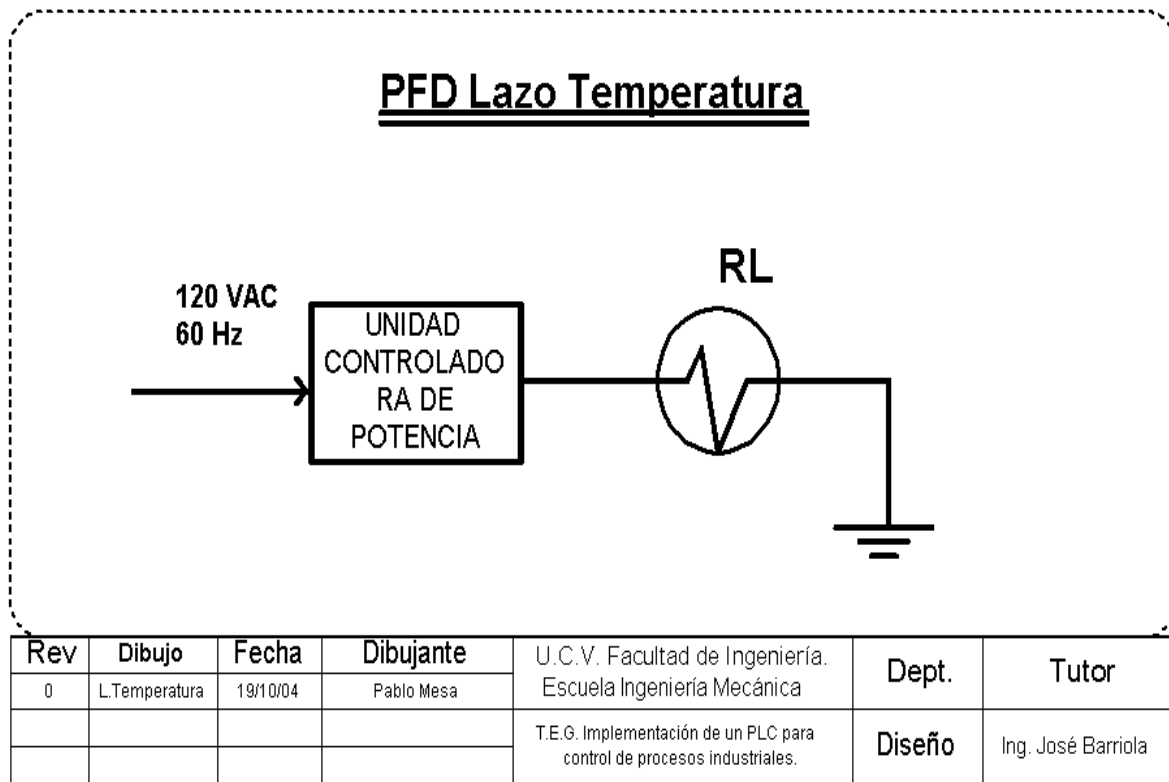


Figura 26. Diagrama de flujo de proceso de Temperatura.

3.2.2 Lazo de presión.

Elementos que lo forman.

Este lazo está constituido por los siguientes equipos e instrumentos:

- Compresor de pistón recíprocante
- Válvulas manuales (2)
- Válvula tipo globo (1)
- Válvula reguladora de presión manual
- Manómetros (2)
- Transmisor de presión tipo (P/I)
- Válvula reguladora de presión automática tipo (I/P)
- Controlador lógico programable (PLC Micro)

En la figura 27 podemos observar el lazo de presión.

Funcionamiento

El compresor suministra una presión entre 20 y 100 Psi, alimentando todo el proceso.

Hay una válvula manual (HV-1) que permite o impide la entrada de aire al proceso. La válvula (PCV-1) mantiene controladamente la presión de aire dentro del proceso gracias a la señal que recibe del controlador (PLC), para ello convierte una señal eléctrica (4-20 mA) en una señal de presión (3-15 Psi).

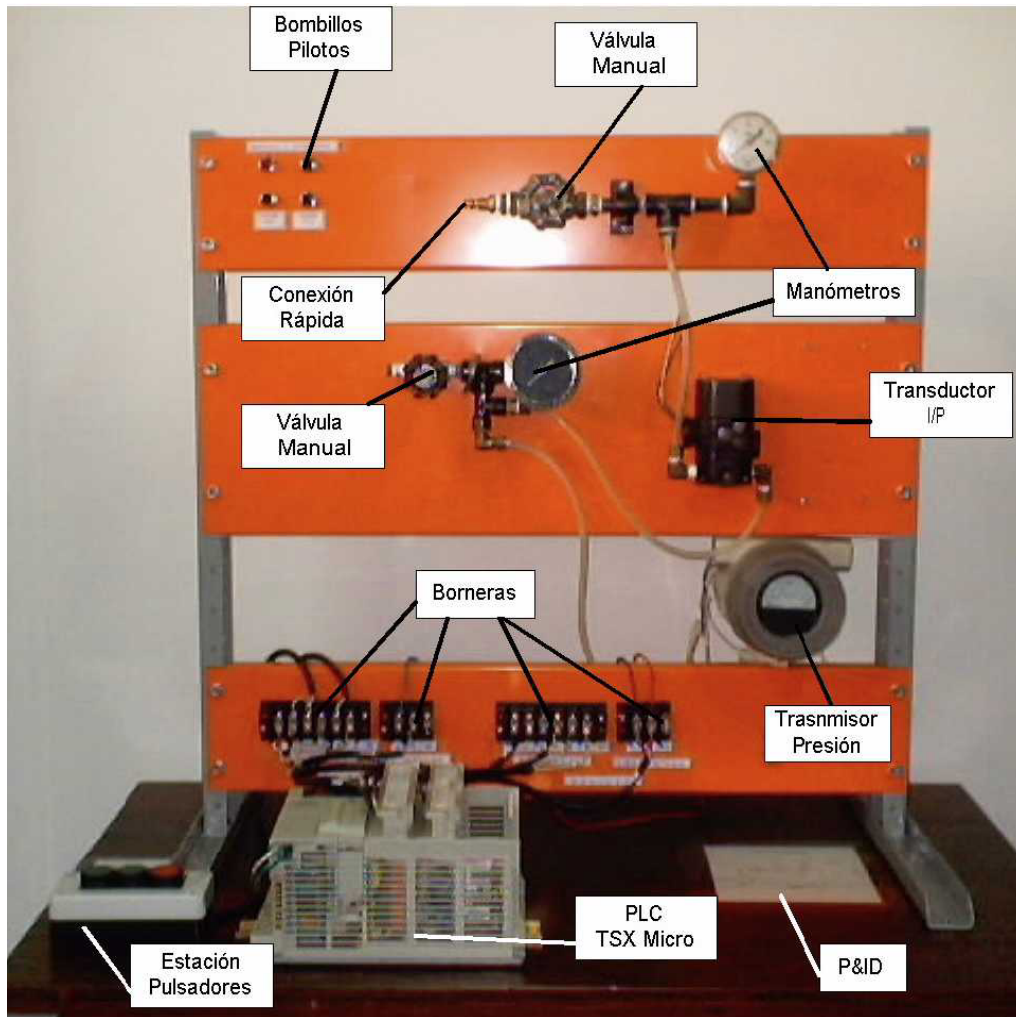


Figura 27. Proceso de Presión.

Abajo de la válvula (PCV-1) la presión dentro de la tubería es la del proceso (3-15 Psi) y la válvula (HV-3) sirve para causar perturbaciones en el mismo, de forma que se pueda observar como actúa el sistema de control para mantener la presión en un valor determinado (punto de ajuste).

El transmisor tipo (P/I) convierte una señal de presión (3-15 Psi) en una señal eléctrica (4-20 mA) que envía al controlador (PLC).

El controlador (PLC) lleva a cabo el control del proceso según secuencia de comandos programada en memoria. Para ello recibe una señal eléctrica (analógica), que procesa y

que le permite saber en que condición está el mismo, para después enviar una señal de salida eléctrica (analógica) que le permite ejercer control sobre el proceso.

En la figura 28 se muestra un diagrama de flujo de proceso para que el lector se haga una idea de cómo funciona el mismo.

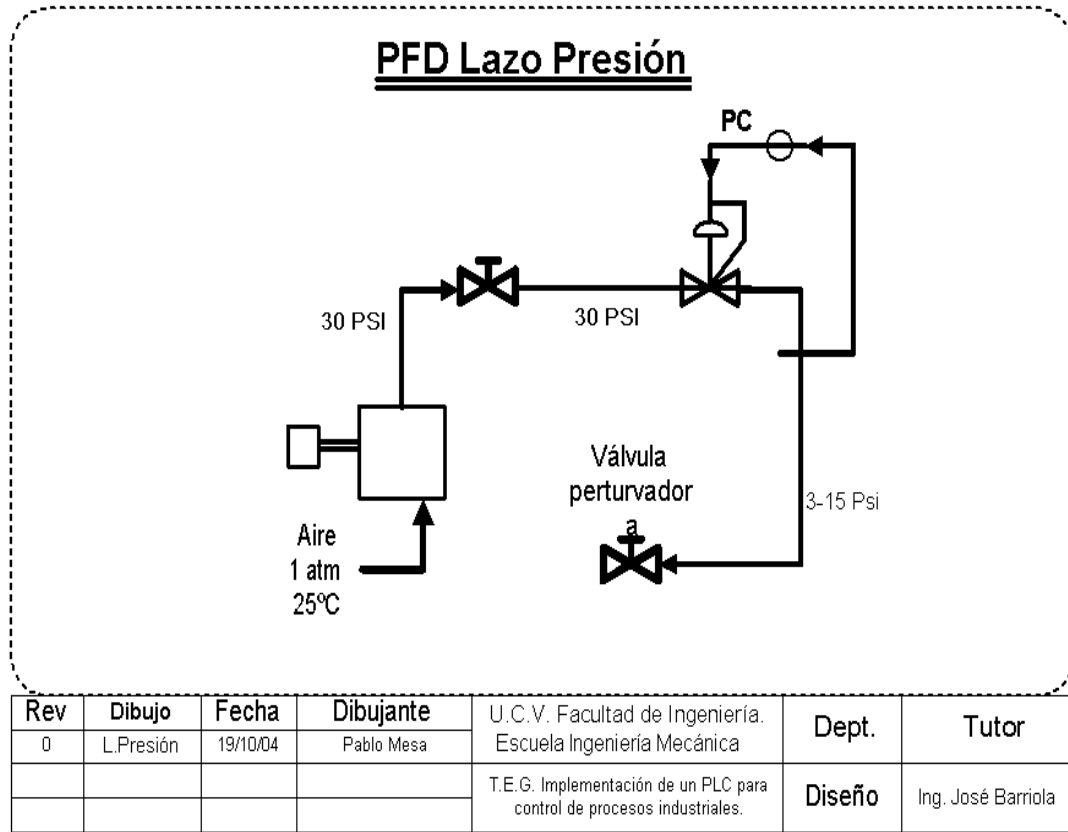


Figura 28. Diagrama de flujo de proceso de Presión.

3.2.3 Lazo de velocidad:

Elementos que lo forman.

Este lazo está constituido por los siguientes equipos e instrumentos:

- Módulo de modulación de velocidad por ancho de pulso (PWM).
- Fuente de alimentación eléctrica 120V AC a 12V DC.
- Motor eléctrico DC
- Selector de proceso
- Transmisor de velocidad
- Indicador de RPM
- Controlador lógico programable (PLC Micro)

Para identificar cada una de los componentes de este lazo de control, por favor revise la figura 25 mostrada anteriormente.

Funcionamiento

El controlador (PLC) lleva a cabo el control del proceso según secuencia de comandos programada en memoria. Para ello recibe una señal eléctrica (analógica) del transmisor de velocidad, que procesa y le permite saber en que condición está el proceso, para después enviar una señal de salida eléctrica (analógica) que le permite ejercer control sobre el moto eléctrico DC, mediante el módulo PWM.

En la figura 29 se muestra un diagrama de flujo de proceso para que el lector se haga una idea de cómo funciona el mismo.

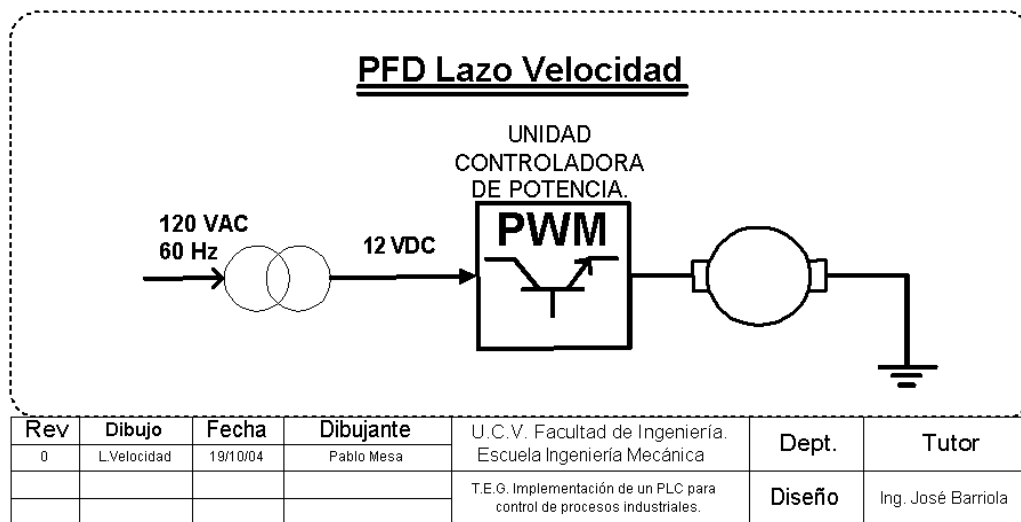


Figura 29. Diagrama de flujo de proceso de Velocidad.

3.2.4 Lazo de nivel:

Elementos que lo forman.

Este lazo está constituido por los siguientes equipos e instrumentos:

- Tanque 1 (20 L)
- Tanque 2
- Bomba de agua eléctrica
- Manómetros (2)
- Rotámetro
- Válvula manual (2)
- Válvula controladora de nivel neumática
- Transmisor diferencial de presión (P/I)
- Transmisor de presión (I/P)
- Controlador lógico programable (PLC Micro)

En las figuras 30 y 31 mostramos el lazo de nivel.

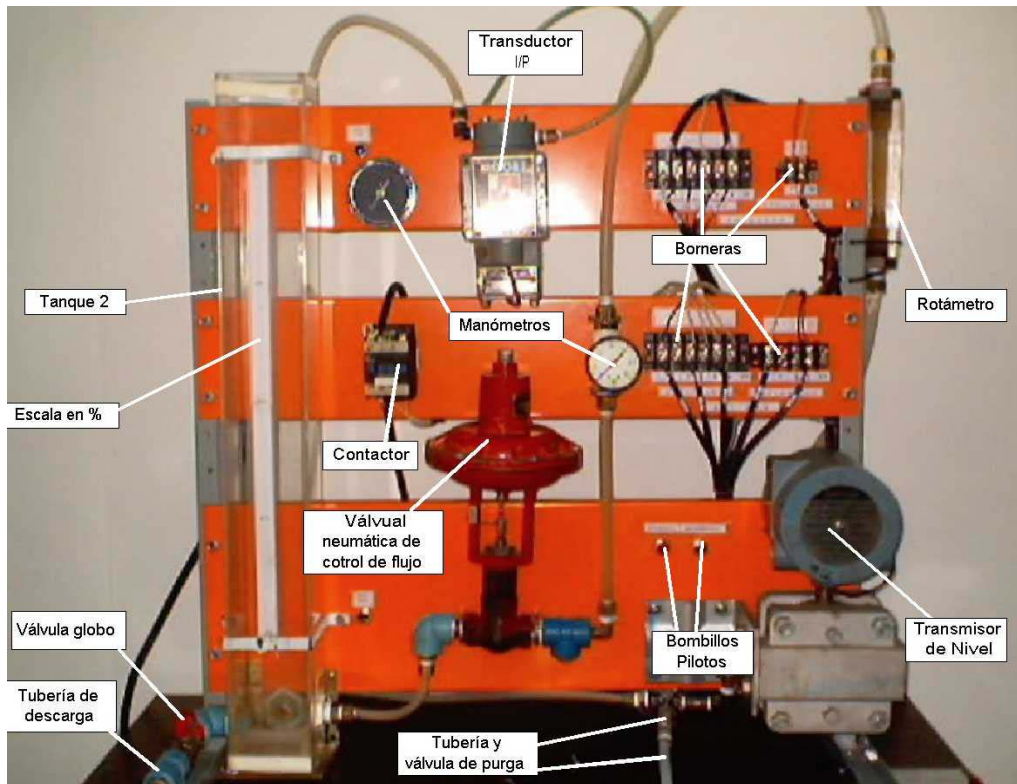


Figura 30. Proceso de Nivel parte superior.

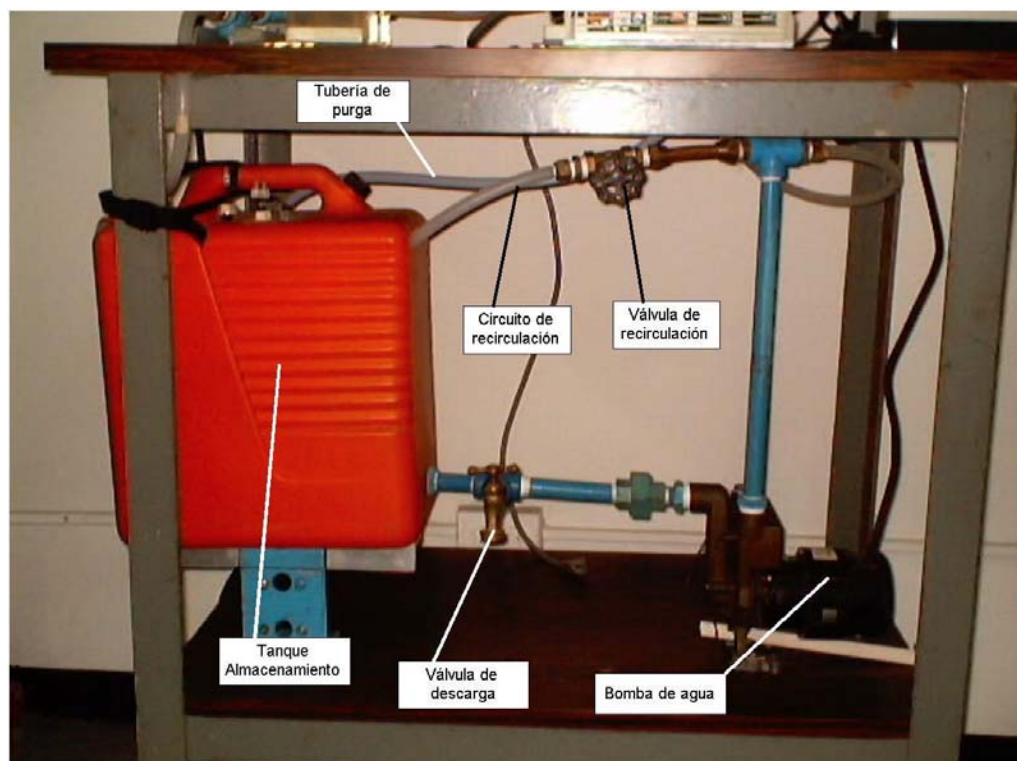


Figura 31. Proceso de Nivel parte inferior.

Funcionamiento

El controlador (PLC) lleva a cabo el control del proceso según secuencia de comandos programada en memoria. Para ello recibe una señal eléctrica (analógica) del transmisor diferencial de presión, que procesa y le permite saber en que condición está el proceso, para después enviar una señal de salida eléctrica (analógica) que le permite ejercer control sobre la válvula controladora de nivel neumática, mediante un transmisor (I/P).

El Tanque 1 simula a un tanque de almacenamiento o alimentación.

La bomba de agua extrae agua del tanque 1 para surtir al proceso. Hay un circuito de recirculación para evitar sobrecargar la bomba en caso que la válvula LCV-1 se encuentre totalmente cerrada.

El agua alimentada por la bomba pasa a través de la válvula controladora de caudal, la cual regula el flujo de agua hacia el tanque 2 según señal recibida del PLC. Esto es posible gracias a un transductor (I/P) que convierte la señal eléctrica del PLC en una señal neumática para la válvula.

Los manómetros son ubicados en diferentes partes del proceso para indicar cual es la presión en cada parte del mismo.

El Tanque 2 está construido con material plástico transparente para poder visualizar las variaciones de nivel en él. Conectado a este tanque se encuentra un transmisor de presión diferencial (P/I) que manda la señal al PLC de cómo está el nivel en dicho tanque.

Del Tanque 2 sale una tubería que lo comunica con el tanque 1 de almacén, cerrando el circuito de agua.

En la figura 32 se muestra un diagrama de flujo de proceso para que el lector se haga una idea de cómo funciona el mismo.

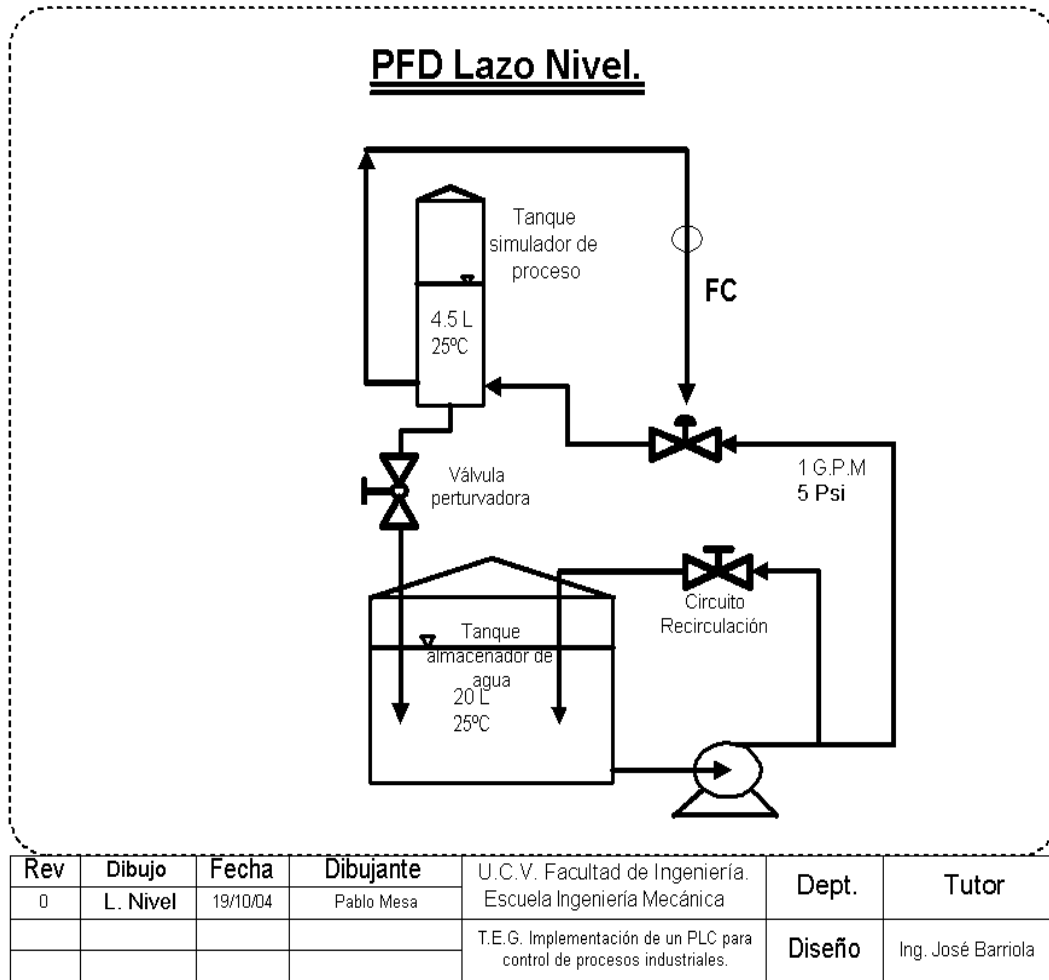


Figura 32. Diagrama de flujo de proceso de Nivel.

3.3 Entonación del PID.

Para la entonación de la función PID de cada uno de los procesos, se utilizaron el método de Ziegler-Nichols, tanto en lazo cerrado como en lazo abierto, sin éxito.

Posteriormente se modeló el proceso de temperatura en el programa Matlab para determinar los valores P, I, D, del mismo; los valores obtenidos por dicho método cuando se llevaron a la práctica no produjeron los resultados deseados en cuanto a comportamiento del proceso.

Por último y tras consultar a profesionales del área con experiencia en esta materia, se decidió utilizar un método empírico, el cual consistió en determinar primero el valor P más adecuado para el proceso, posteriormente determinar el valor I y por último el valor D. La forma para determinar dichos valores consistió en ensayo y error hasta alcanzar los valores que hacían comportarse en forma estable al proceso.

CAPÍTULO IV

**SIMULACIÓN DEL PROCESO DE
TEMPERATURA**

SIMULACIÓN DEL PROCESO DE TEMPERATURA

Este capítulo se ha desarrollado con el objeto de poder comparar el comportamiento real del proceso de temperatura con el simulado, mediante el programa computacional “Mathlab”, y además basados en los parámetros obtenidos en la simulación utilizarlos en la función PID del PLC.

Para ello primero interactuamos con el proceso y determinamos matemáticamente su comportamiento y posteriormente mediante el programa “Mathlab” simulamos el comportamiento del proceso para diferentes parámetros de la función PID.

La simulación se ha realizado únicamente en el proceso de temperatura debido a su respuesta lenta hace posible tomar los datos a mano (valores de temperatura) mientras varía. Sin embargo en los demás procesos la variación es demasiado rápida para que esto se lleve a cabo a mano; por supuesto si se dispone de una tarjeta de adquisición de datos este inconveniente es fácilmente solventable.

4.1 Comportamiento del proceso de temperatura:

Para determinar el comportamiento del proceso, se procedió a operarlo manualmente. Se colocó la salida del controlador en diferentes valores de apertura y se anotaron los correspondientes valores de temperatura alcanzados cuando el proceso estabilizaba.

A continuación en la figura 33 y 34 presentamos los gráficos correspondientes al proceso de temperatura, que representan su comportamiento partiendo de temperatura ambiente hasta la máxima temperatura que es capaz de alcanzar. En la primera figura la representación de la apertura del controlador se muestra en porcentaje (%).

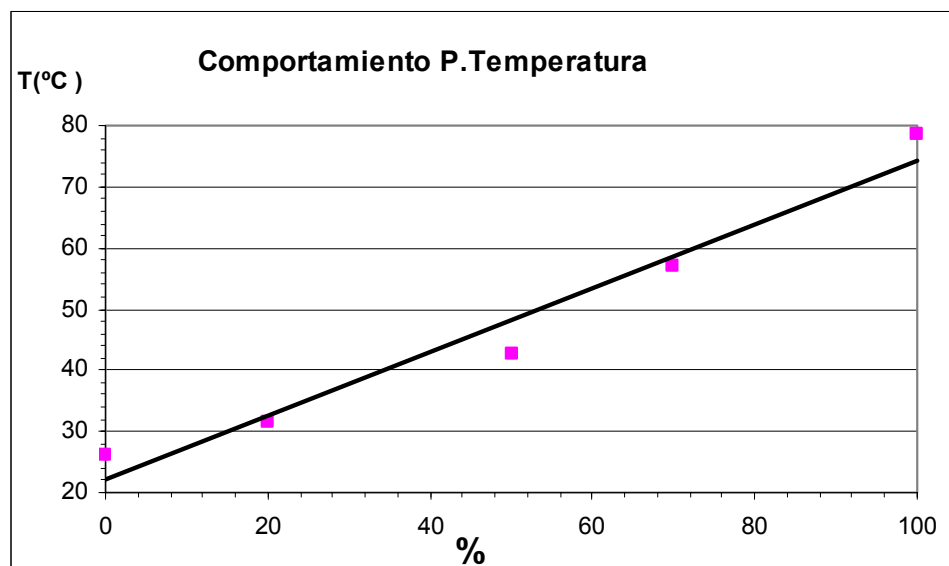


Figura 33. Gráfica de Temperatura vs apertura del controlador (%)

Linealizando el comportamiento del proceso obtenemos su correspondiente ecuación matemática:

$$y = 0.5234 x + 22.08$$

En la figura 34 mostramos la apertura del controlador no como porcentaje (%) si no en los valores propios del controlador (mA).

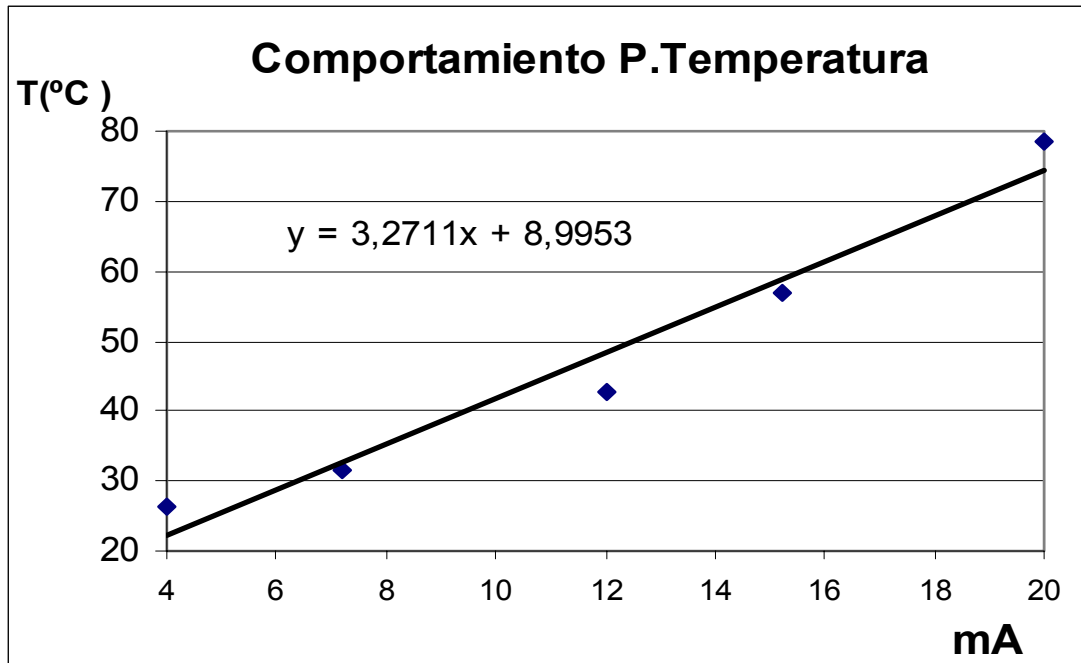


Figura 34. Gráfica de Temperatura VS apertura del controlador (mA)

Nuevamente linealizando el comportamiento del proceso obtenemos su correspondiente ecuación matemática:

$$y = 3.2711 x + 8.9953$$

Para poder determinar la función de transferencia que rige el comportamiento de este proceso, se varió en forma de escalón la salida del controlador (por supuesto en modo manual de operación). Con el proceso a temperatura ambiente y estable, se varió la salida del controlador de 0% a 40% o lo que es lo mismo de 4mA a 10.4mA.

La gráfica que describe los valores por los que pasa el proceso se muestra a continuación. En ella se puede apreciar claramente que el proceso alcanza la temperatura máxima de 38°C y estabiliza en ese valor. También podemos observar mediante la gráfica, la respuesta lenta del proceso, necesitando este aproximadamente 70 minutos para alcanzar el valor máximo y 90 para que podamos decir que el proceso se encuentra estable.

t (min)	Temperatura
0	31,87
0,1667	31,87
1	32,29
2	32,95
5	34,43
10	35,81
15	36,66
20	37,05
25	37,25
30	37,37
40	37,63
50	37,84
60	37,92
90	38,12
120	37,9

Tabla 1 de valores de temperatura variando 40% la salida del controlador.

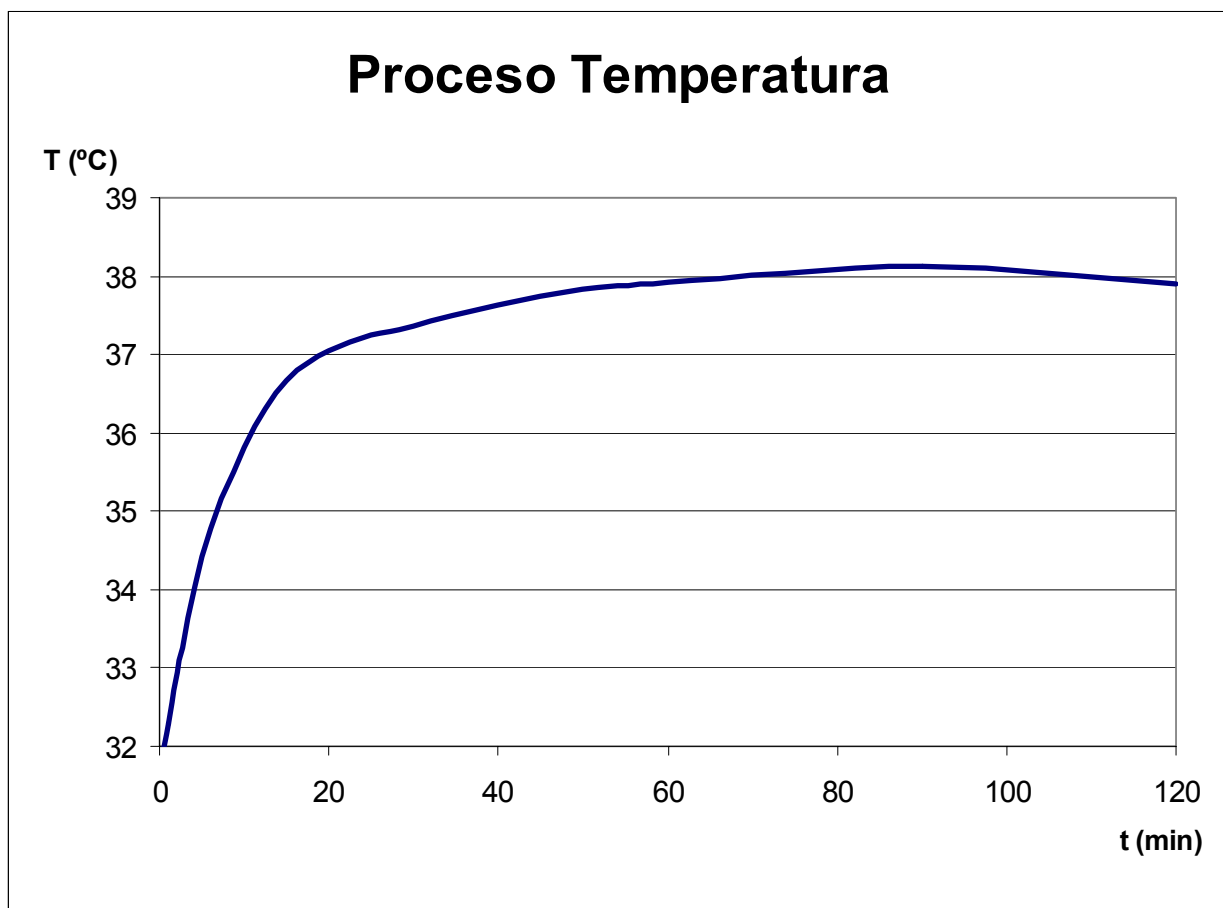


Figura 35. Comportamiento del proceso de temperatura.

4.2 Cálculo de la función de transferencia del proceso.

La respuesta a una variación de tipo escalón en un sistema de primer orden (temperatura en este caso), viene dada por la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K}{s\tau + 1}$$

donde: $K =$ ganancia
 $\tau =$ Constante de tiempo

Lazo Abierto (modo manual de operación):

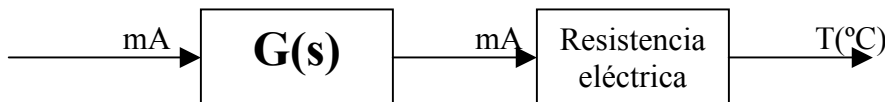


Figura 36. Proceso de temperatura en lazo abierto.

La ganancia de la función de transferencia es calculada como:

$$K = \frac{\text{Salida(Escalón)}}{\text{Entrada(Escalón)}} = \frac{37.9^{\circ}C}{10.4mA} = 3.64 \frac{^{\circ}C}{mA}$$

La constante de tiempo la obtenemos cuando el proceso ha alcanzado el 63.2% del escalón:

$$\text{Escalón} = 37.9 - 31.87 = 6.03^{\circ}C$$

$$63.2\%(\text{Escalón}) = \frac{6.03 * 63.2}{100} = 3.81^{\circ}C$$

$$\tau = 31.87 + 3.81 = 35.68^{\circ}C \Rightarrow 10 \text{ min}$$

*El valor 10 min se obtiene de la tabla1 mostrada anteriormente

Luego la función de transferencia resultante es:

$$G(s) = \frac{3.64}{s10 + 1} \left(\frac{^{\circ}C}{\text{min} * mA} \right)$$

4.3 Simulación mediante el programa computacional “Mathlab”.

Para realizar la simulación, creamos un sistema en lazo cerrado cuya función de transferencia es la obtenida precisamente para el proceso de temperatura. En la figura 37 se muestra el diagrama del lazo creado en “Mathlab”.

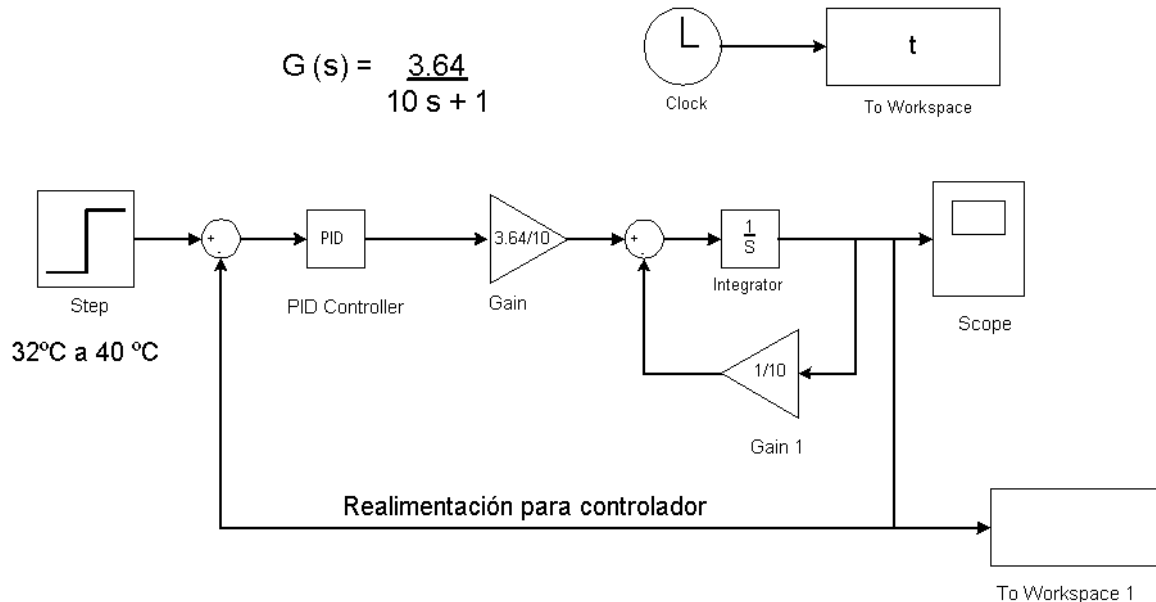


Figura 37. Lazo cerrado que simula al proceso de temperatura

Para la simulación se introdujo una variación en el proceso de tipo escalón, es decir, de 0% (32°C) que se encontraba el proceso a temperatura ambiente, se colocó la salida del controlador en 40%. Adicionalmente se dieron diferentes valores a los parámetros proporcional (P) e integral (I) y se vio en que forma se comporta el proceso para cada uno de ellos. En la figura 38 vemos los diferentes comportamientos en función de los valores PI dados a la función PID.

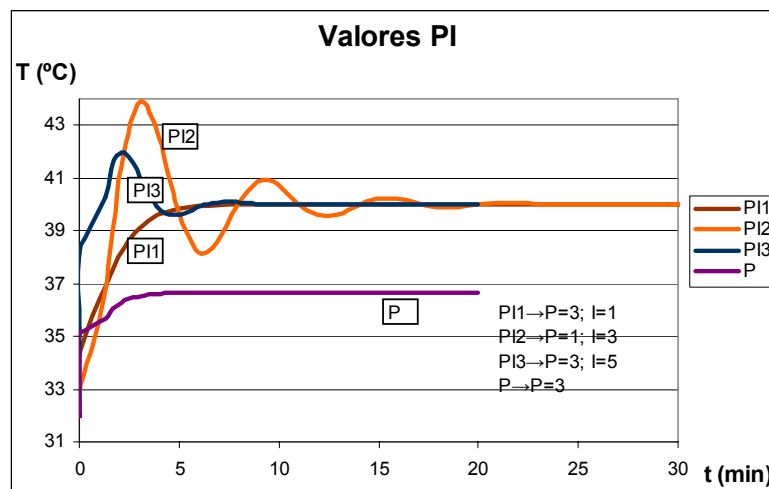


Figura 38. Simulación del proceso de temperatura para diferentes valores de PI.

Luego mediante la variación progresiva de los valores PI en el programa simulador se obtuvieron los valores que hacen comportarse al proceso de forma estable y que le permiten alcanzar el valor del punto de ajuste. En la figura 39 mostramos con línea de color amarillo el comportamiento del proceso en lazo abierto, en línea de color morado la simulación del proceso en lazo abierto y en línea de color azul el comportamiento del proceso con la función PID entonada, en este caso $P=1.2$ e $I=0.1$.

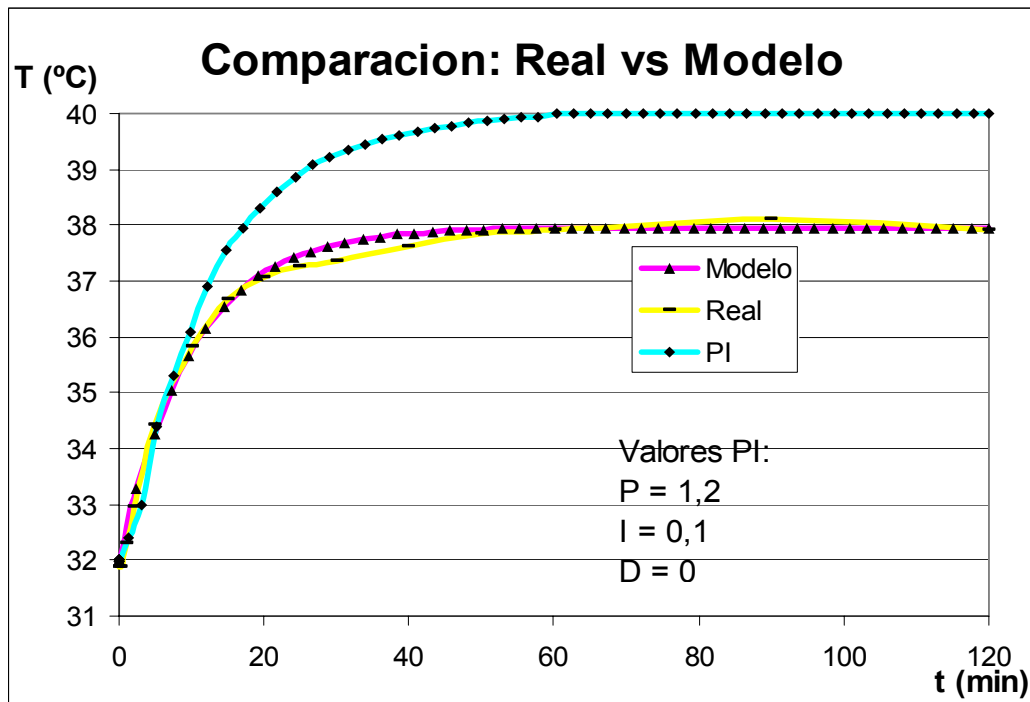


Figura 39. Obtención de los valores PI.

CAPÍTULO V
PRÁCTICAS PROPUESTAS

Práctica N°1. Proceso de Nivel, identificación de equipos:

Objetivo de la práctica:

- Entender cómo funciona el proceso de nivel e identificar cada uno de los equipos que lo constituyen.

Desarrollo:

1. En el anexo A.3 se incluye el diagrama P&ID correspondiente al proceso de Nivel, el estudiante debe anotar en el mismo los instrumentos o equipos correspondientes, usando las normas ISA. Adicionalmente debe señalar cuales son las señales de control y las magnitudes de presión utilizadas en el proceso, para ello debe revisar los datos de placa de los equipos que considere necesario.
2. Adicionalmente el estudiante debe colocar una descripción de cómo funciona el proceso, que función cumple cada uno de los componentes del mismo en la acción de control.

Nota: el formato para llevar a cabo esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°2. Proceso de Presión, identificación de equipos:

Objetivo de la práctica:

- Entender cómo funciona el proceso de Presión e identificar cada uno de los equipos que lo constituyen.

Desarrollo:

1. En el anexo A.3 se incluye el diagrama P&ID correspondiente al proceso de Presión, el estudiante debe anotar en el mismo los instrumentos o equipos correspondientes, usando las normas ISA. Adicionalmente debe señalar cuáles son las señales de control y las magnitudes de presión utilizadas en el proceso, para ello debe revisar los datos de placa de los equipos que considere necesario.
2. Adicionalmente el estudiante debe colocar una descripción de cómo funciona el proceso, qué función cumple cada uno de los componentes del mismo en la acción de control.

Nota: el formato para llevar a cabo esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°3. PID en Proceso de Nivel:

Objetivo de la práctica:

- Diferenciar la acción de control de una función PID entonada y sin entonar en el lazo de control de Nivel.

Desarrollo:

1°- Colocar los valores P, I, D que hacen funcionar el proceso en forma estable (valores predefinidos por el instructor).

2°- Aplicar un escalón al proceso (variar el punto de ajuste, set point, en un porcentaje considerable en modo automático).

3°- Observar el comportamiento del proceso, es decir, verificar si el proceso consigue llegar al valor de punto de ajuste solicitado, en cuanto tiempo lo hace, ¿hay error en estado estable?

4°- Colocar valores P, I, D considerablemente distintos a los colocados anteriormente.

5°- Aplicar un escalón al proceso (el mismo escalón que se aplicó anteriormente).

6°- Observar el comportamiento del proceso nuevamente y compararlo con la respuesta del mismo en el caso entonado.

7° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°4. PID en Proceso de Presión:

Objetivo de la práctica:

- Diferenciar la acción de control de una función PID entonada y sin entonar en el proceso de presión.

Desarrollo:

1°- Colocar los valores P, I, D que hacen funcionar el proceso en forma estable (valores predefinidos por el instructor).

2°- Aplicar un escalón al proceso (variar el set point en un porcentaje considerable en modo automático).

3°- Observar el comportamiento del proceso, es decir, verificar si el proceso consigue llegar al valor de set point solicitado, en cuanto tiempo lo hace, ¿hay error en estado estable?.

4°- Colocar valores P, I, D considerablemente distintos a los colocados anteriormente.

5°- Aplicar un escalón al proceso (el mismo escalón que se aplicó anteriormente).

6°- Observar el comportamiento del proceso nuevamente y compararlo con la respuesta del mismo en el caso entonado.

7° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°5. PID en Proceso de Velocidad:

Objetivo de la práctica:

- Diferenciar la acción de control de una función PID entonada y sin entonar en el lazo de control de Velocidad.

Desarrollo:

1°- Colocar los valores P, I, D que hacen funcionar el proceso en forma estable (valores predefinidos por el instructor).

2°- Aplicar un escalón al proceso (variar el punto de ajuste, set point, en un porcentaje considerable en modo automático).

3°- Observar el comportamiento del proceso, es decir, verificar si el proceso consigue llegar al valor de punto de ajuste solicitado, en cuanto tiempo lo hace, ¿hay error en estado estable?.

4°- Colocar valores P, I, D considerablemente distintos a los colocados anteriormente.

5°- Aplicar un escalón al proceso (el mismo escalón que se aplicó anteriormente).

6°- Observar el comportamiento del proceso nuevamente y compararlo con la respuesta del mismo en el caso entonado.

7° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°6. PID en Proceso de Temperatura:

Objetivo de la práctica:

- Diferenciar la acción de control de una función PID entonada y sin entonar en el lazo de control de Temperatura.

Desarrollo:

1°- Colocar los valores P, I, D que hacen funcionar el proceso en forma estable (valores predefinidos por el instructor).

2°- Aplicar un escalón al proceso (variar el punto de ajuste (set point) en un valor no mayor al 40% en modo automático); no se aconseja un escalón muy grande dada la lentitud del proceso.

3°- Observar el comportamiento del proceso, es decir, verificar si el proceso consigue llegar al valor de punto de ajuste solicitado, en cuanto tiempo lo hace, ¿hay error en estado estable?. En esta práctica se pueden tomar los valores de temperatura para intervalos iguales de tiempo y graficar la respuesta en la tabla anexa en el formato de prácticas.

4°- Colocar valores P, I, D considerablemente distintos a los colocados anteriormente.

5°- Aplicar un escalón al proceso (el mismo escalón que se aplicó anteriormente).

6°- Observar el comportamiento del proceso nuevamente y graficarlo como en el caso anterior para comparar las diferencias entre cada respuesta.

7° Tomar nota cada minuto del valor de la temperatura y graficar.

8° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°7. Parámetros PID en Proceso de Nivel:

Objetivo de la práctica:

- Entender que efecto produce sobre la acción de control, en el proceso de Nivel, cada uno de los parámetros de la función PID.

Desarrollo:

1° Colocar diferentes valores de P y rellenar la tabla adjunta, por último colocar el valor de P entonado en la función PID, colocando cero en los valores I y D. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3. tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

2° Colocar los valores de P, I entonado en la función PID, colocando cero en el valor D.

Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3 tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

3° Colocar los valores de P, I, D entonado en la función PID. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3 tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

4° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°8. Parámetros PID en Proceso de Presión:

Objetivo de la práctica:

- Entender que efecto produce sobre la acción de control, en el proceso de Presión, cada uno de los parámetros de la función PID.

Desarrollo:

1° Colocar diferentes valores de P y rellenar la tabla adjunta, por último colocar el valor de P entonado en la función PID, colocando cero en los valores I y D. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3 tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

2° Colocar los valores de P, I entonado en la función PID, colocando cero en el valor D.

Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3 tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

3° Colocar los valores de P, I, D entonado en la función PID. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3 tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

4° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

Práctica N°9. Parámetros PID en Proceso de Velocidad:

Objetivo de la práctica:

- Entender que efecto produce sobre la acción de control, en el proceso de Velocidad, cada uno de los parámetros de la función PID.

Desarrollo:

1° Colocar diferentes valores de P y rellenar la tabla adjunta, por último colocar el valor de P entonado en la función PID, colocando cero en los valores I y D. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3. tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

2° Colocar los valores de P, I entonado en la función PID, colocando cero en el valor D.

Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3. tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

3° Colocar los valores de P, I, D entonado en la función PID. Llenar los valores que aparecen en la tabla de los anexos A.3. tras aplicar un escalón al proceso tal como se hizo en la práctica anterior:

4° Sacar conclusiones según los datos obtenidos.

Proceso de temperatura.

Por la lentitud en la respuesta de este proceso, no se recomienda realizar esta práctica en el mismo.

Nota: el formato para toma de datos de esta práctica se encuentra en el anexo A.3

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La sustitución del gabinete de control por los chasis modulares independientes resultó satisfactoria. De esta forma los componentes que posee cada proceso quedan completamente visibles para el alumno, así como las conexiones eléctricas tanto de los transmisores como del PLC, resultando ahora mucho más didáctico el uso de estos módulos de proceso.
- Los chasis modulares permiten atender a la vez a tres o cuatro grupos de dos o tres estudiantes cada uno, mientras que el gabinete sólo permitía un grupo a la vez.
- Con los módulos contruidos se pueden implementar un gran número de prácticas de control.
- La interface gráfica del PLC, mediante la PC, resulta mucho más amigable y fácil de usar para cualquier usuario familiarizado con el uso del sistema operativo Microsoft Windows, que la interface que poseía el controlador Micon P-200.
- La movilidad que tiene cada módulo, por el uso de ruedas, permite utilizar cómodamente el proceso que se necesite en cualquiera de las aulas pertenecientes al área de automática.
- La independencia de los procesos en los chasis permite tener acceso a los equipos de forma muy cómoda, lo que facilita su revisión, mantenimiento, calibración o sustitución si fuera necesario.
- La programación del PLC nos permitió cumplir fácilmente con las necesidades de control solicitadas para este trabajo.
- Para la entonación del proceso de temperatura resultó más conveniente el uso del método de ensayo y error que el de la simulación.
- Los modelos matemáticos y métodos como los de Ziegler-Nichols no resultaron de utilidad para entonar los procesos. El proceso de entonación resulta así ser más un arte que una ciencia y la habilidad para determinar los valores adecuados depende en gran medida de la experiencia.

RECOMENDACIONES:

- Se sugiere la compra de trampas de agua y aceite para colocar en la tubería de alimentación de aire a presión, para evitar que dichos fluidos entren en contacto con los instrumentos de medición y control de los procesos.
- Se recomienda la adquisición por parte de la E.I.M de tres PLCs Telemecanique “TSX Micro 3721” y sus correspondientes módulos (digitales “TSX DMZ 28AR” y analógicos “TSX AEZ 14”, “TSX ASZ 200”) para que puedan trabajar un grupo de alumnos por cada proceso. De esta forma se pretende agilizar el tiempo de estadía en el laboratorio y la oportunidad que cada alumno pueda tener contacto con cada uno de los procesos.
- La práctica de parámetros PID para los diferentes procesos no se recomienda realizar en el de temperatura, ya que la respuesta del mismo es lenta y aumenta el número de horas de laboratorio. Este inconveniente no se presenta con ninguno de los otros procesos.
- Para evitar incidentes en la operación del proceso de nivel, se recomienda operar este proceso en modo manual inicialmente, hasta superar el valor de 0%, posteriormente se puede controlar tanto en modo manual como automático. Para mayor claridad referirse al manual de operación que se muestra en el anexo A1.
- Para que el alumno aprecie el comportamiento en tiempo real de las señales analógicas, se sugiere la adquisición de ocho pantallas digitales (display) que colocados en serie en los circuitos eléctricos de las entradas y salidas analógicas, permita ver su valor y variación mientras se controla el proceso.
- Cuando se usen los módulos, no se recomienda que se coloquen bolígrafos, portaminas u otros objetos metálicos ya que cuando se energiza hay tensión en diversos terminales que pudieran dar una descarga eléctrica si alguna persona toca con el objeto dos terminales con diferente fase.

Bibliografía

- ◆ AEG Schneider Automation, 1996, “Autómatas TSX Micro, Manual de puesta en marcha”.
- ◆ Allen – Bradley Company, 1995, “Micromentor, Descripción y aplicación de los microcontroladores programables”, impreso en E.E.U.U.
- ◆ Balcells, Joseph y otro, 1998, “Autómatas programables”, Editorial Alfaomega Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-España.
- ◆ Creus S., Antonio, 1998, “Instrumentación Industrial”, 6ª Edición, Alfaomega grupo editorial, México.
- ◆ Gómez V, Germán R., 1998, “Simulación mediante un programa de computadora de dos lazos de control instalados en el gabinete de procesos de la EIM”, Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- ◆ Gonzáles, M. Amadeo, 1961, “Diseño e instalación del laboratorio de control e instrumentación”, Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- ◆ Haidée, Lucena, M.Sc., 1998, “Lectura e interpretación de planos”, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Mérida-Venezuela.
- ◆ Howard I. Harrison, 1978, “Controles automáticos”, 2ª edición, Editorial Trillas, México.
- ◆ Mandado Pérez y otros, 1990, “Controladores lógicos y autómatas programables”, Editorial Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-México.
- ◆ Ogata, Katsushito, 1998, “Ingeniería de control moderna”, 3ª Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, México.
- ◆ Porras C. A. y Montanero M. A., 1991, “Autómatas Programables”, McGraw Hill, Madrid (España).
- ◆ Ramírez O. José A., 2001, “Estudio del efecto de pequeños retardos de transporte en un sistema de regulación de flujo PID digital”, Trabajo Especial de Grado.

Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.

- ◆ Ruiz de Azua, 1970, “Instalación de los laboratorios de controles e instrumentación”, Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas.
- ◆ Schneider Automation S.A, 1997, “Manual de referencia, Versión V1.3”, impreso en Francia.
- ◆ Simón, André, 1991, “Autómatas Programables”, 2ª Edición, editorial Paraninfo, Madrid (España).
- ◆ http://usuarios.lycos.es/automatica/temas/tema2/pags/la_lc/lalc.htm

ANEXOS

ANEXO I

Manual de operación de los procesos de control.

Proceso de Temperatura

1. Fijar el PLC en el perfil simétrico que se encuentra sobre la mesa del proceso de Temperatura.
2. Conectar cada cable del proceso (ya debidamente identificado) a cada una de las borneras correspondientes del PLC.
3. Conectar el cable de comunicaciones del PLC a la PC (puerto serial o DB9) y el otro extremo en el conector identificado como “TER” que se encuentra en la parte superior del mismo.
4. Conectar la PC a una toma eléctrica de 110 V_{AC} y pulsar el botón de encendido tanto en el monitor como en el CPU.
5. Conectar el PLC al tomacorriente de 110V_{AC} que se encuentra en la parte posterior del chasis.
6. Conectar la “unidad controladora de potencia” al tomacorriente de 110V_{AC}.
7. Conectar el cable que alimenta eléctricamente al tomacorriente que se encuentra fijo en el chasis del proceso, a una toma de 110V_{AC}.
8. Poner el selector que se encuentra en la parte superior del chasis en la posición correspondiente al proceso de temperatura. Este selector es el que aparece en la figura 25.
9. Hacer doble Clic con el puntero del ratón (dispositivo apuntador) sobre el icono que se encuentra en la pantalla principal de la computadora (Escritorio) y cuyo nombre es “Lazos de Control”.
10. Pulsar dentro del cuadro del navegador de la aplicación (application browser) la carpeta tarea primaria (Mast task).
11. Pulsar para acceder a la carpeta secciones (sections) y posteriormente pulsar dos veces “Lazo_temperatura” para entrar en la programación de ese proceso.
12. En la barra de herramientas del programa “PL7 Pro” pulsar sobre el botón “PLC” y después sobre “Transfer program”. Cuando pregunte si desea transferir la aplicación, verifique en la casilla “PC→PLC” y pulse “Aceptar”. Pulse nuevamente “Aceptar” a la pregunta que le realice.
13. Una vez realizada la transferencia (el programa lo indica en la parte inferior izquierda), busque en el explorador que aparece en la parte izquierda de la pantalla y abra la

carpeta de pantallas de explotación “Runtime screens” y pulse dos veces sobre el nombre del lazo que esté trabajando.

14. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Connect”.
15. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Run” y “Aceptar” a la pregunta que aparece.
16. Ya puede actuar libremente con los pulsadores de la estación de pulsadores sobre el proceso tanto en Modo Manual como Automático.
17. Para detener el proceso pulsar “PLC”, ”Stop” y “Aceptar” a la pregunta realizada.
18. Por último pulse “PLC”, ”Disconnect” y cierre la aplicación.

Nota: Para variar los parámetro P, I, D del algoritmo PID debe entrarse al diagrama de escalera y modificar los valores de las palabras %MW12 (-10.000<P<10.000), %MW13 (0<Ti<20.000), %MW14 (0<Td<10.000) respectivamente. En la programación se indentifica con texto cada uno de ellos.

Proceso de Velocidad

1. Fijar el PLC en el perfil simétrico que se encuentra sobre la mesa del proceso de Velocidad.
2. Conectar cada cable del proceso (ya debidamente identificado) a cada una de las borneras correspondientes del PLC.
3. Conectar el cable de comunicaciones del PLC a la PC (puerto serial o DB9) y el otro extremo en el conector identificado como “TER” que se encuentra en la parte superior del mismo.
4. Conectar la PC a una toma eléctrica de 110 V_{AC} y pulsar el botón de encendido tanto en el monitor como en el CPU.
5. Conectar el PLC al tomacorriente de 110V_{AC} que se encuentra en la parte posterior del chasis.
6. Conectar la “unidad controladora de potencia” al tomacorriente de 110V_{AC}.
7. Conectar el cable que alimenta eléctricamente al tomacorriente que se encuentra fijo en el chasis del proceso, a una toma de 110V_{AC}.
8. Poner el selector que se encuentra en la parte superior del chasis en la posición correspondiente al proceso de Velocidad. Este selector es el que aparece en la figura 25.
9. Hacer doble Clic con el puntero del ratón (dispositivo apuntador) sobre el icono que se encuentra en la pantalla principal de la computadora (Escritorio) y cuyo nombre es “Lazos de Control”.
10. Pulsar dentro del cuadro del navegador de la aplicación (application browser) la carpeta tarea primaria (Mast task).
11. Pulsar para acceder a la carpeta secciones (sections) y posteriormente pulsar dos veces “Lazo_velocidad” para entrar en la programación de ese proceso.
12. En la barra de herramientas del programa “PL7 Pro” pulsar sobre el botón “PLC” y después sobre “Transfer program”. Cuando pregunte si desea transferir la aplicación, verifique en la casilla “PC→PLC” y pulse “Aceptar”. Pulse nuevamente “Aceptar” a la pregunta que le realice.
13. Una vez realizada la transferencia (el programa lo indica en la parte inferior izquierda), busque en el explorador que aparece en la parte izquierda de la pantalla y abra la carpeta de pantallas de explotación “Runtime screens” y pulse dos veces sobre el nombre del lazo que esté trabajando.

14. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Connect”.
15. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Run” y “Aceptar” a la pregunta que aparece.
16. Coloque el selector en modo manual y aumente la salida hasta un valor elevado (80% por ejemplo) y déjelo girar por 2 minutos.
17. Ya puede actuar libremente con los pulsadores de la estación de pulsadores sobre el proceso tanto en Modo Manual como Automático.
18. Para detener el proceso pulsar “PLC”, ”Stop” y “Aceptar” a la pregunta realizada.
19. Por último pulse “PLC”, ”Disconnect” y cierre la aplicación.

Nota: Para variar los parámetro P, I, D del algoritmo PID debe entrarse al diagrama de escalera y modificar los valores de las palabras %MW12 (-10.000<P<10.000), %MW13 (0<Ti<20.000), %MW14 (0<Td<10.000) respectivamente. En la programación se indentifica con texto cada uno de ellos.

Proceso de Presión

1. Fijar el PLC en el perfil simétrico que se encuentra sobre la mesa del proceso de presión.
2. Conectar cada cable del proceso (ya debidamente identificado) a cada una de las borneras correspondientes del PLC.
3. Conectar el cable de comunicaciones del PLC a la PC (puerto serial o DB9) y el otro extremo en el conector identificado como “TER” que se encuentra en la parte superior del mismo.
4. Conectar la PC a una toma eléctrica de 110 V_{AC} y pulsar el botón de encendido tanto en el monitor como en el CPU.
5. Conectar el PLC a un tomacorriente de 110V_{AC}.
6. Conectar la fuente de alimentación eléctrica DC a una toma de 110V_{AC}.
7. Conectar la válvula manual HV-1 a una toma de aire a presión. Para lo cual hay una manguera transparente unida a la referida válvula.
8. Energizar el compresor que suministra la presión de aire necesaria al proceso.
9. Esperar que el compresor alcance la presión de trabajo.
10. Hacer doble Clic con el puntero del ratón (dispositivo apuntador) sobre el icono que se encuentra en la pantalla principal de la computadora (Escritorio) y cuyo nombre es “Lazos de Control”.
11. Pulsar dentro del cuadro del navegador de la aplicación (application browser) la carpeta tarea primaria (Mast task).
12. Pulsar para acceder a la carpeta secciones (sections) y posteriormente pulsar dos veces “Lazo_presión” para entrar en la programación de ese proceso.
13. En la barra de herramientas del programa “PL7 Pro” pulsar sobre el botón “PLC” y después sobre “Transfer program”. Cuando pregunte si desea transferir la aplicación, verifique en la casilla “PC→PLC” y pulse “Aceptar”. Pulse nuevamente “Aceptar” a la pregunta que le realice.
14. Una vez realizada la transferencia (el programa lo indica en la parte inferior izquierda), busque en el explorador que aparece en la parte izquierda de la pantalla y abra la carpeta de pantallas de explotación “Runtime screens” y pulse dos veces sobre el nombre del lazo que esté trabajando.

15. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Connect”.
16. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Run” y “Aceptar” a la pregunta que aparece.
17. Ya puede actuar libremente con los pulsadores de la estación de pulsadores sobre el proceso tanto en Modo Manual como Automático. También puede generar perturbaciones actuando sobre la válvula manual HV-3 que se encuentra a la salida del proceso.
18. Para detener el proceso pulsar “PLC”, ”Stop” y “Aceptar” a la pregunta realizada.
19. Por último pulse “PLC”, ”Disconnect” y cierre la aplicación.

Nota: Para variar los parámetro P, I, D del algoritmo PID debe entrarse al diagrama de escalera y modificar los valores de las palabras %MW12 (-10.000<P<10.000), %MW13 (0<Ti<20.000), %MW14 (0<Td<10.000) respectivamente. En la programación se indentifica con texto cada uno de ellos.

Proceso de Nivel

1. Fijar el PLC en el perfil simétrico que se encuentra sobre la mesa del proceso de nivel.
2. Conectar cada cable del proceso (ya debidamente identificado) a cada una de las borneras correspondientes del PLC.
3. Conectar el cable de comunicaciones del PLC a la PC (puerto serial o DB9) y el otro extremo en el conector identificado como “TER” que se encuentra en la parte superior del mismo.
4. Conectar la PC a una toma eléctrica de 110 V_{AC} y pulsar el botón de encendido tanto en el monitor como en el CPU.
5. Conectar el PLC al tomacorriente de 110V_{AC} que se encuentra en la parte posterior del chasis.
6. Conectar el cable que alimenta eléctricamente al tomacorriente que se encuentra fijo en el chasis del proceso, a una toma de 110V_{AC}.
7. Conectar la válvula manual reguladora de presión PCV-1 a una toma de aire a presión. Para lo cual hay una manguera transparente unida a dicha válvula.
8. Energizar el compresor que suministra la presión de aire necesaria al proceso.
9. Esperar que el compresor alcance la presión de trabajo.
10. Una vez alcanzada la presión, actuar sobre la válvula PCV-1 hasta conseguir que el manómetro conectado a la misma, indique 20 Psi.
11. Hacer doble Clic con el puntero del ratón (dispositivo apuntador) sobre el icono que se encuentra en la pantalla principal de la computadora (Escritorio) y cuyo nombre es “Lazos de Control”.
12. Pulsar dentro del cuadro del navegador de la aplicación (application browser) la carpeta tarea primaria (Mast task)
13. Pulsar para acceder a la carpeta secciones (sections) y posteriormente pulsar dos veces “Lazo_nivel” para entrar en la programación de ese proceso.
14. En la barra de herramientas del programa “PL7 Pro” pulsar sobre el botón “PLC” y después sobre “Transfer program”. Cuando pregunte si desea transferir la aplicación, verifique en la casilla “PC→PLC” y pulse “Aceptar”. Pulse nuevamente “Aceptar” a la pregunta que le realice.

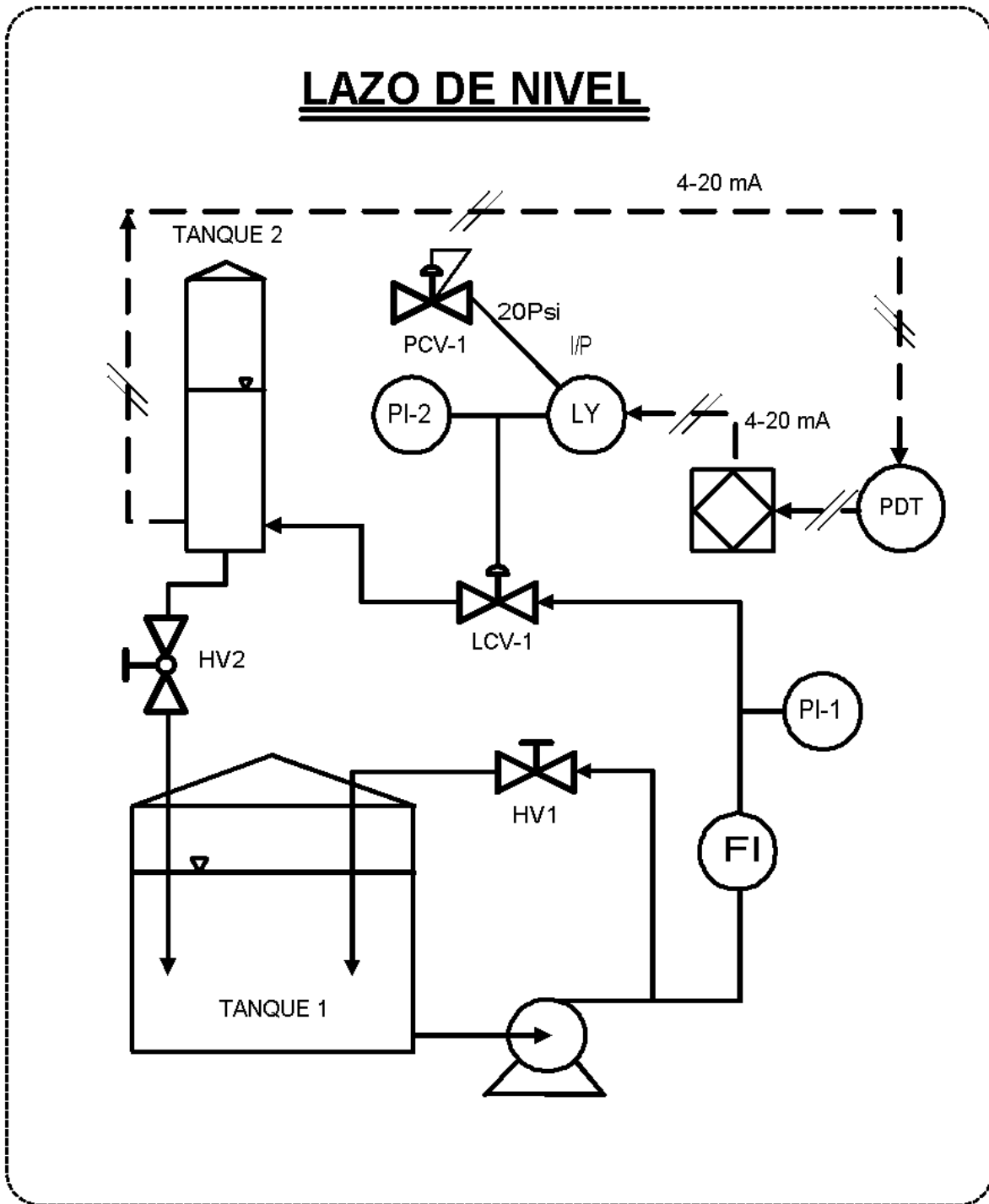
15. Una vez realizada la transferencia (el programa lo indica en la parte inferior izquierda), busque en el explorador que aparece en la parte izquierda de la pantalla y abra la carpeta de pantallas de explotación “Runtime screens” y pulse dos veces sobre el nombre del lazo que esté trabajando.
16. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Connect”.
17. Pulse en el botón del menú herramientas “PLC”, ”Run” y “Aceptar” a la pregunta que aparece.
18. Si no empieza a llenarse el Tanque 2 se deben dar unos golpes pequeños en el rotámetro que se encuentra ubicado en la parte superior derecha del chasis, visto de frente, para que el émbolo del instrumento se despegue.
19. Coloque el selector de la estación de pulsadores en Modo Manual y pulse el botón con la etiqueta “subir”, hasta que el nivel del Tanque N°2 esté por encima del nivel 0% y verifique que están energizados los bombillos pilotos (si esto no ocurre entonces es posible que el fusible de la fuente eléctrica DC esté haciendo un falso contacto o esté quemado).
20. Abrir la válvula de purga que conecta el tanque 2 con el transmisor de nivel durante por lo menos treinta segundo, evitando así que quede aire dentro de la tubería. Cerrarla para finalizar el proceso de purga.
21. Ya puede actuar libremente con los pulsadores de la estación de pulsadores sobre el proceso tanto en Modo Manual como Automático. También puede generar perturbaciones actuando sobre la válvula manual HV2 de globo que se encuentra a la salida del Tanque N°2.
22. Para detener el proceso pulsar “PLC”, ”Stop” y “Aceptar” a la pregunta realizada.
23. Por último pulse “PLC”, ”Disconnect” y cierre la aplicación.

Nota: Cualquier duda que se presente respecto a la nomenclatura utilizada en este manual, se recomienda referirse a los diagramas P&ID que se encuentran en el anexo (A.2), y a los manuales de programación del PLC o en su defecto a la ayuda del programa, que se encuentra pulsando el signo “?” de interrogación del menú de herramientas y después “Index”.

Para variar los parámetro P, I, D del algoritmo PID debe entrarse al diagrama de escalera y modificar los valores de las palabras %MW12 (-10.000<P<10.000), %MW13 (0<Ti<20.000), %MW14 (0<Td<10.000) respectivamente. En la programación se indentifica con texto cada uno de ellos.

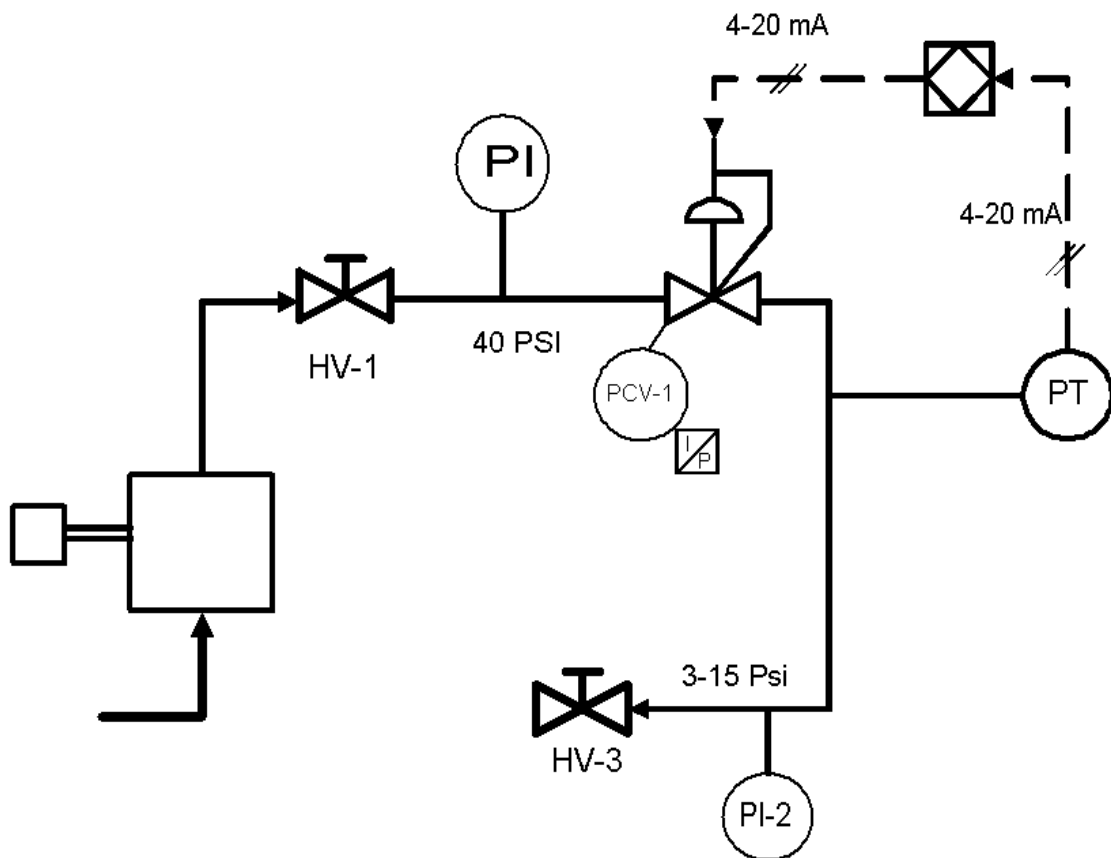
ANEXO II

Diagramas P&ID

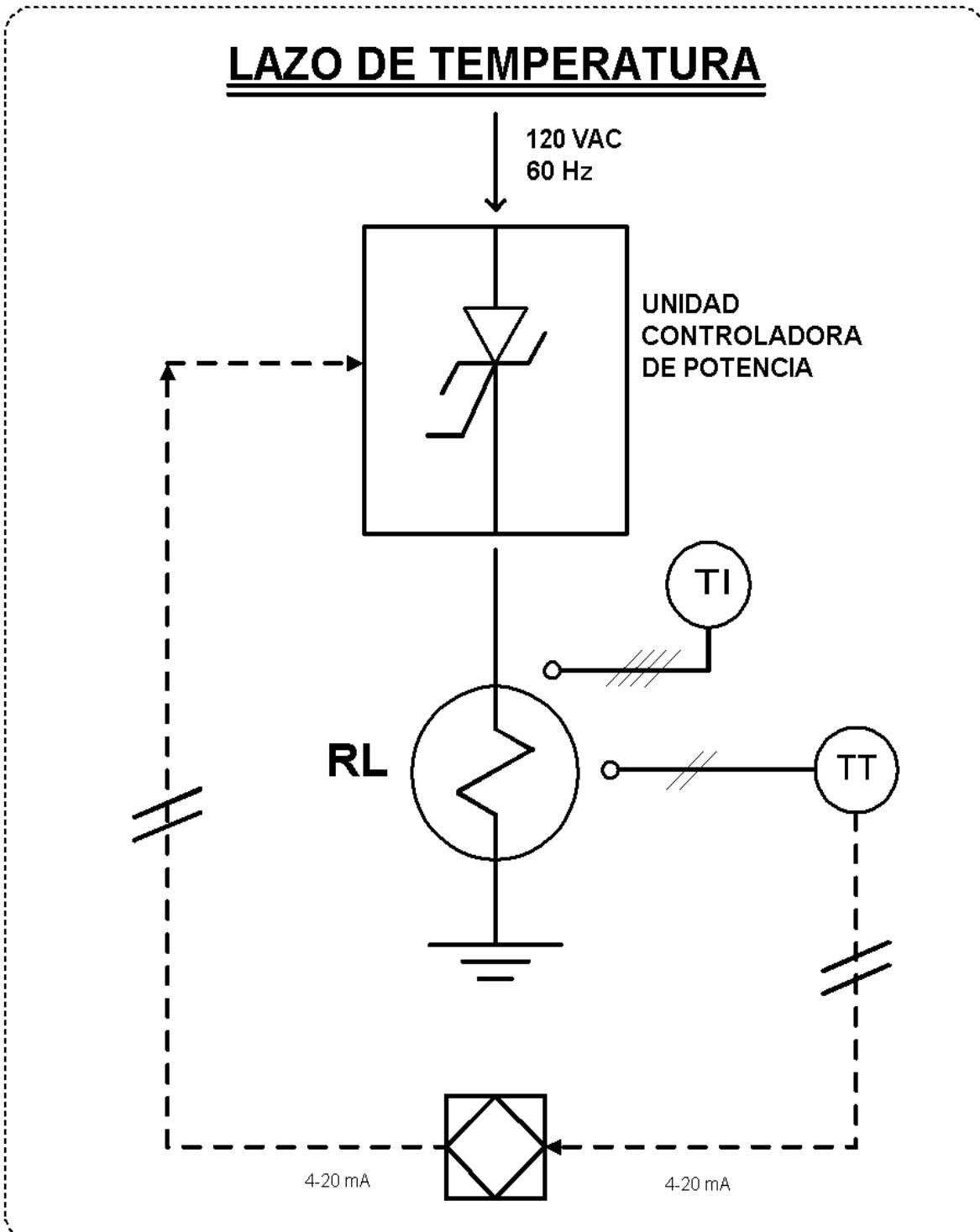


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	L. Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

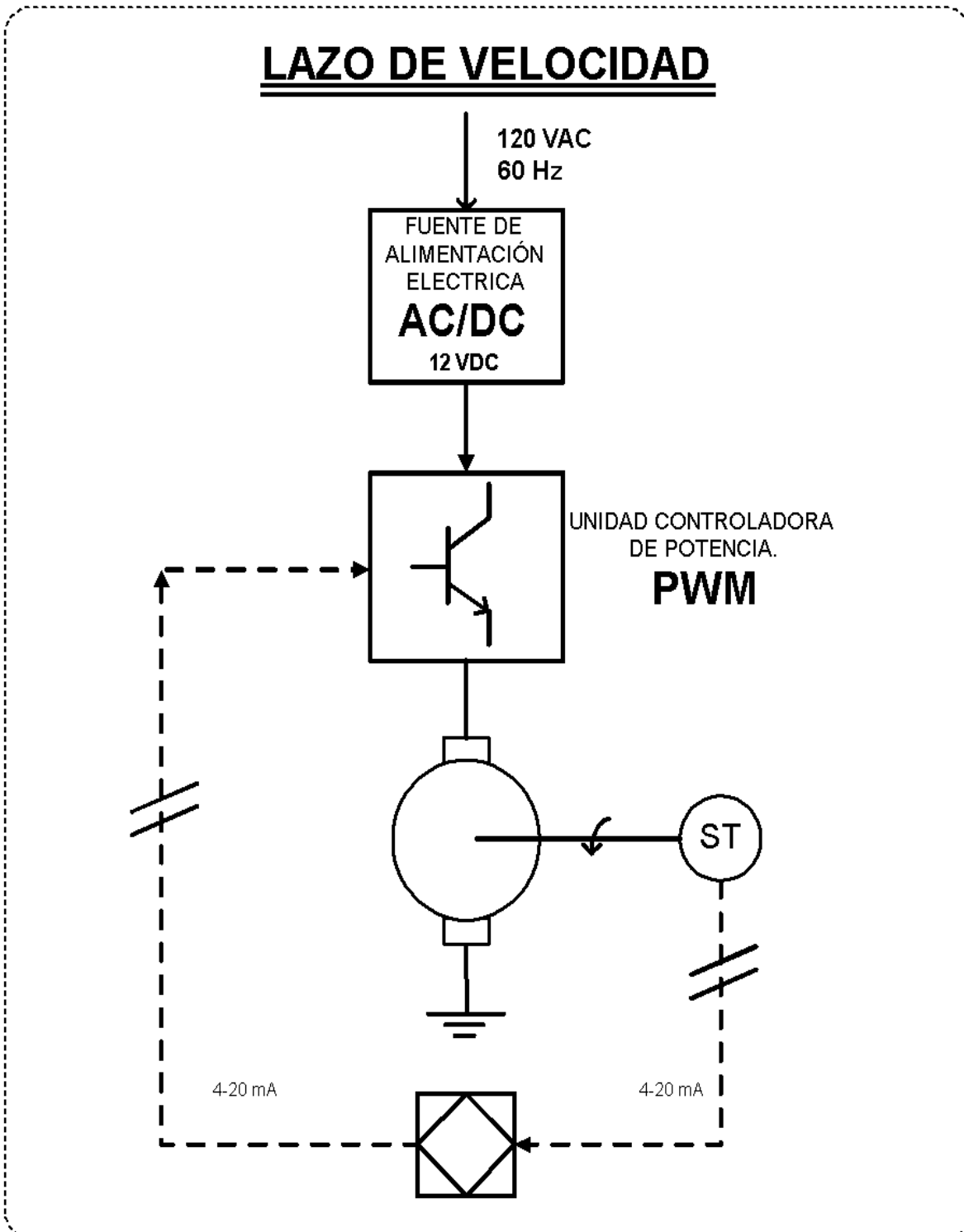
LAZO DE PRESIÓN



Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa			
				T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	L.Temperatura	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

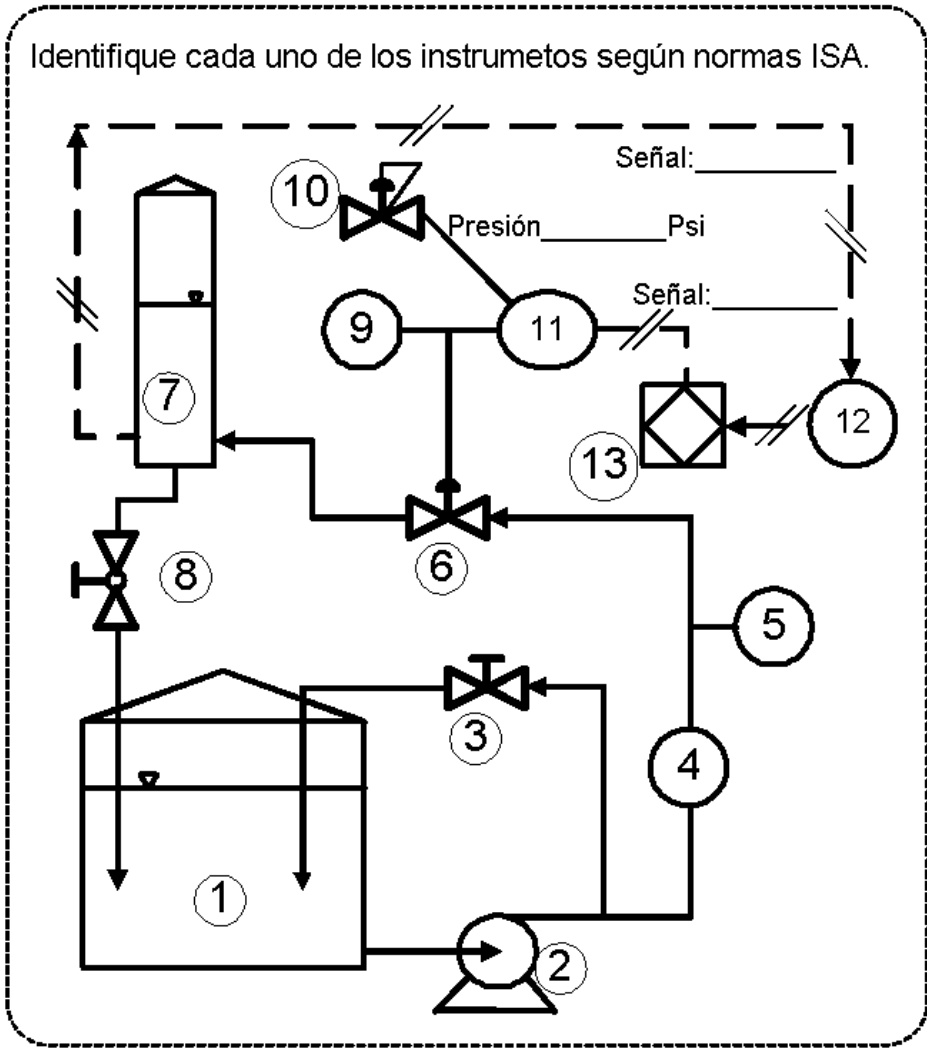


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	L.Velocidad	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

ANEXO III

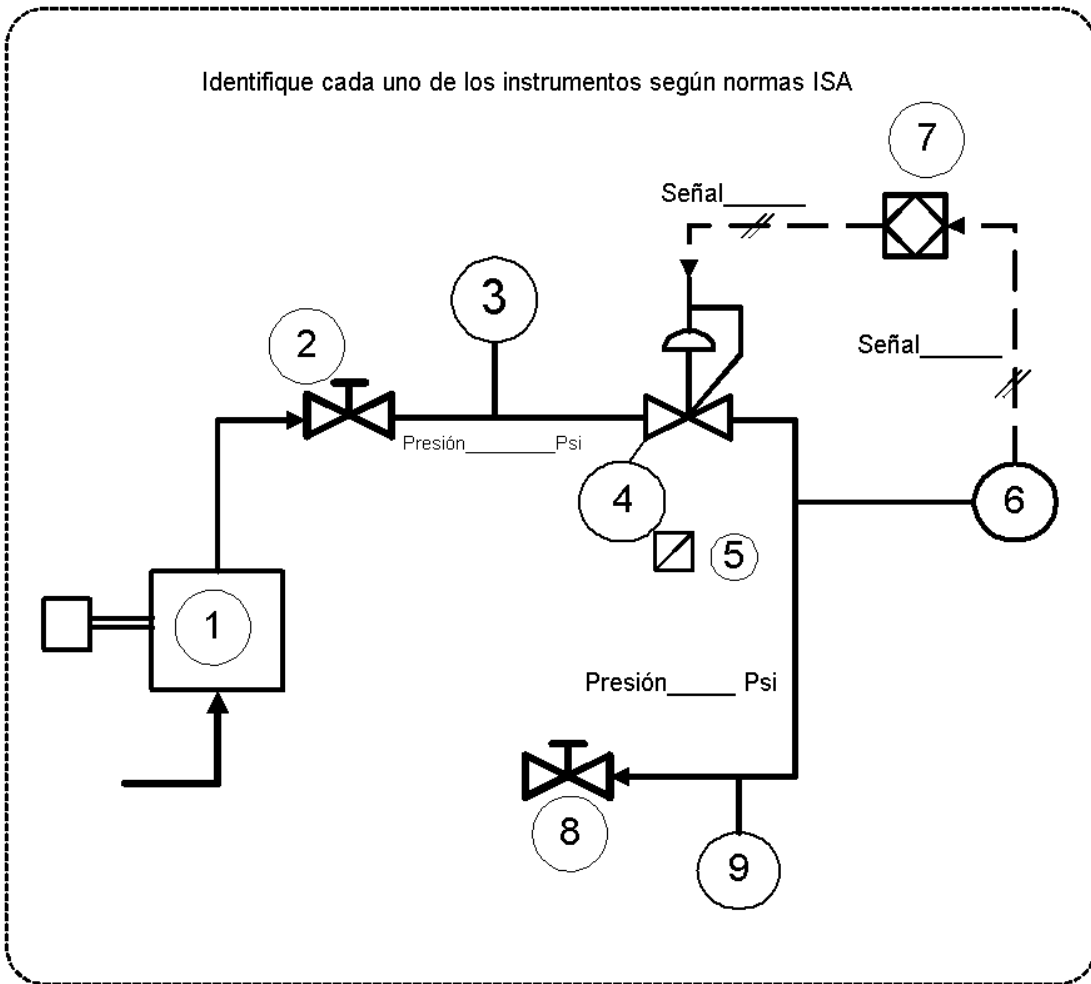
Formatos de prácticas

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #1: Proceso de Nivel, identificación de equipos	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	



1.	8.
2.	9.
3.	10.
4.	11.
5.	12.
6.	13.
7.	

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #2: Proceso de Presión, identificación de equipos	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	



1.	6.
2.	7.
3.	8.
4.	9.
5.	

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #3: PID en proceso de Nivel	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Valores para función PID del controlador:

Entonada		Desentonada	
P=	%	P=	%
I=	%	I=	%
D=	%	D=	%

Comportamiento del proceso:

P. Nivel	Entonada	Desentonado
Punto de ajuste inicial:	%	%
Punto de ajuste final:	%	%
Tamaño del escalón:	%	%
Tiempo para estabilizar:		
Error en estado estable:	%	%

Conclusiones:

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #4: PID en proceso de Presión	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Valores para función PID del controlador:

Entonada		Desentonada	
P=	%	P=	%
I=	%	I=	%
D=	%	D=	%

Comportamiento del proceso:

P. Presión	Entonada	Desentonado
Punto de ajuste inicial:	%	%
Punto de ajuste final:	%	%
Tamaño del escalón:	%	%
Tiempo para estabilizar:		
Error en estado estable:	%	%

Conclusiones:

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #5: PID en proceso de Velocidad	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Valores para función PID del controlador:

Entonada		Desentonada	
P=	%	P=	%
I=	%	I=	%
D=	%	D=	%

Comportamiento del proceso:

P. Velocidad	Entonada	Desentonado
Punto de ajuste inicial:	%	%
Punto de ajuste final:	%	%
Tamaño del escalón:	%	%
Tiempo para estabilizar:		
Error en estado estable:	%	%

Conclusiones:

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #6: PID en proceso de Temperatura	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

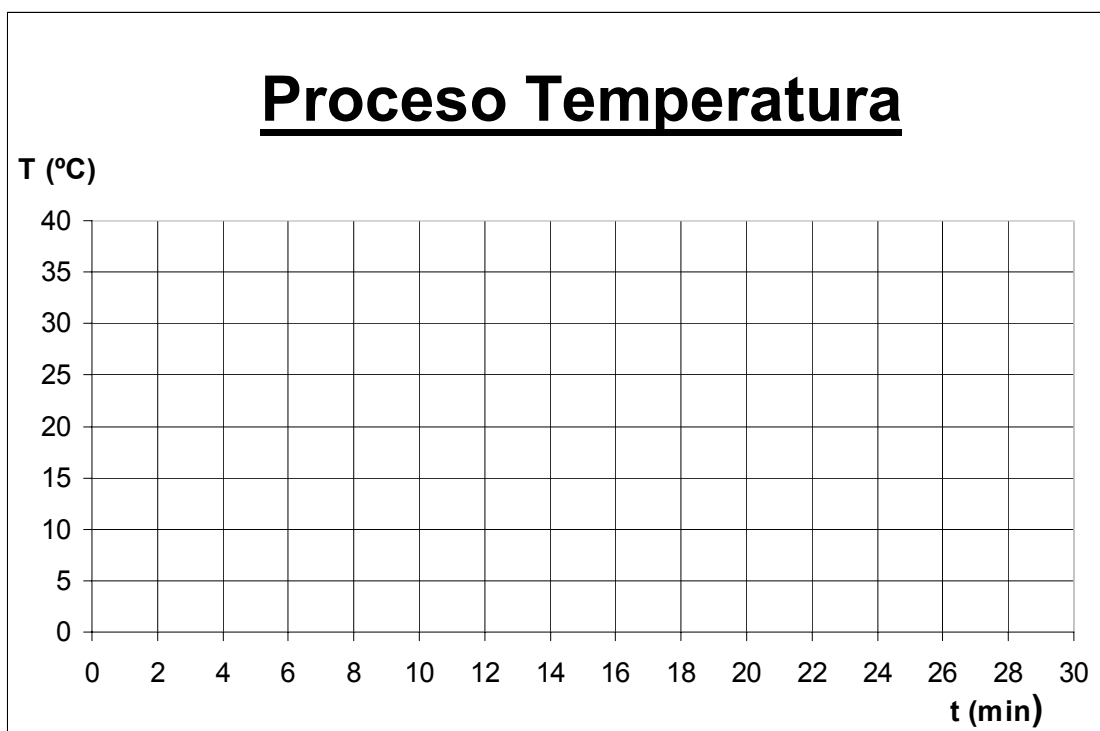
Valores para función PID del controlador:

Entonada		Desentonada	
P=	%	P=	%
I=	%	I=	%
D=	%	D=	%

Comportamiento del proceso:

P. Temperatura	Entonada	Desentonado
Punto de ajuste inicial:	%	%
Punto de ajuste final:	%	%
Tamaño del escalón:	%	%
Tiempo para estabilizar:		
Error en estado estable:	%	%

Gráfica para toma de valores de temperatura.



Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #7: Parámetros PID en proceso de Velocidad	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Relativos al valor proporcional (P):

Valor Proporcional P	
Valor P:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Relativos al valor proporcional e integral (PI):

Valor Proporcional e Integral P, I	
Valor P:	%
Valor I:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Relativos al valor proporcional, integral y derivativo (PID):

Valor Proporcional, Integral y Derivativo P, I, D	
Valor P:	%
Valor I:	%
Valor D:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #8: Parámetros PID en proceso de Presión	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Relativos al valor proporcional (P):

Valor Proporcional P	
Valor P:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Relativos al valor proporcional e integral (PI):

Valor Proporcional e Integral P, I	
Valor P:	%
Valor I:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Relativos al valor proporcional, integral y derivativo (PID):

Valor Proporcional, Integral y Derivativo P, I, D	
Valor P:	%
Valor I:	%
Valor D:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Universidad Central de Venezuela		Facultad de ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica.	
Laboratorio: Controles Automáticos		Práctica #9: Parámetros PID en proceso de Velocidad	
Apellidos	Nombre	C.I.:	Calificación:
Sección de teoría:	Sección laboratorio:	Fecha:	

Datos:

Relativos al valor proporcional (P):

Valor Proporcional P	
Valor P:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

Relativos al valor proporcional e integral (PI):

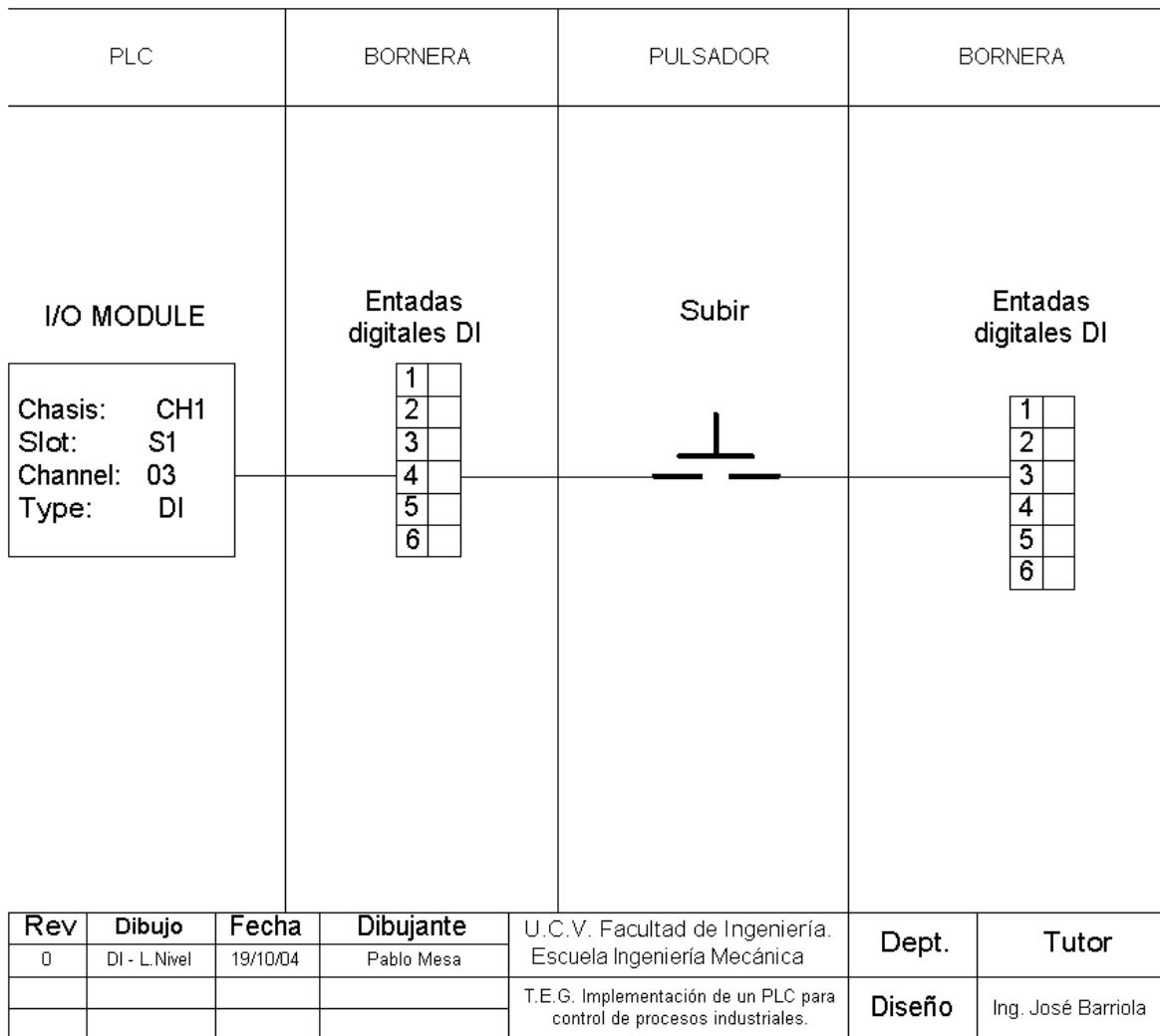
Valor Proporcional e Integral P, I	
Valor P:	%
Valor I:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

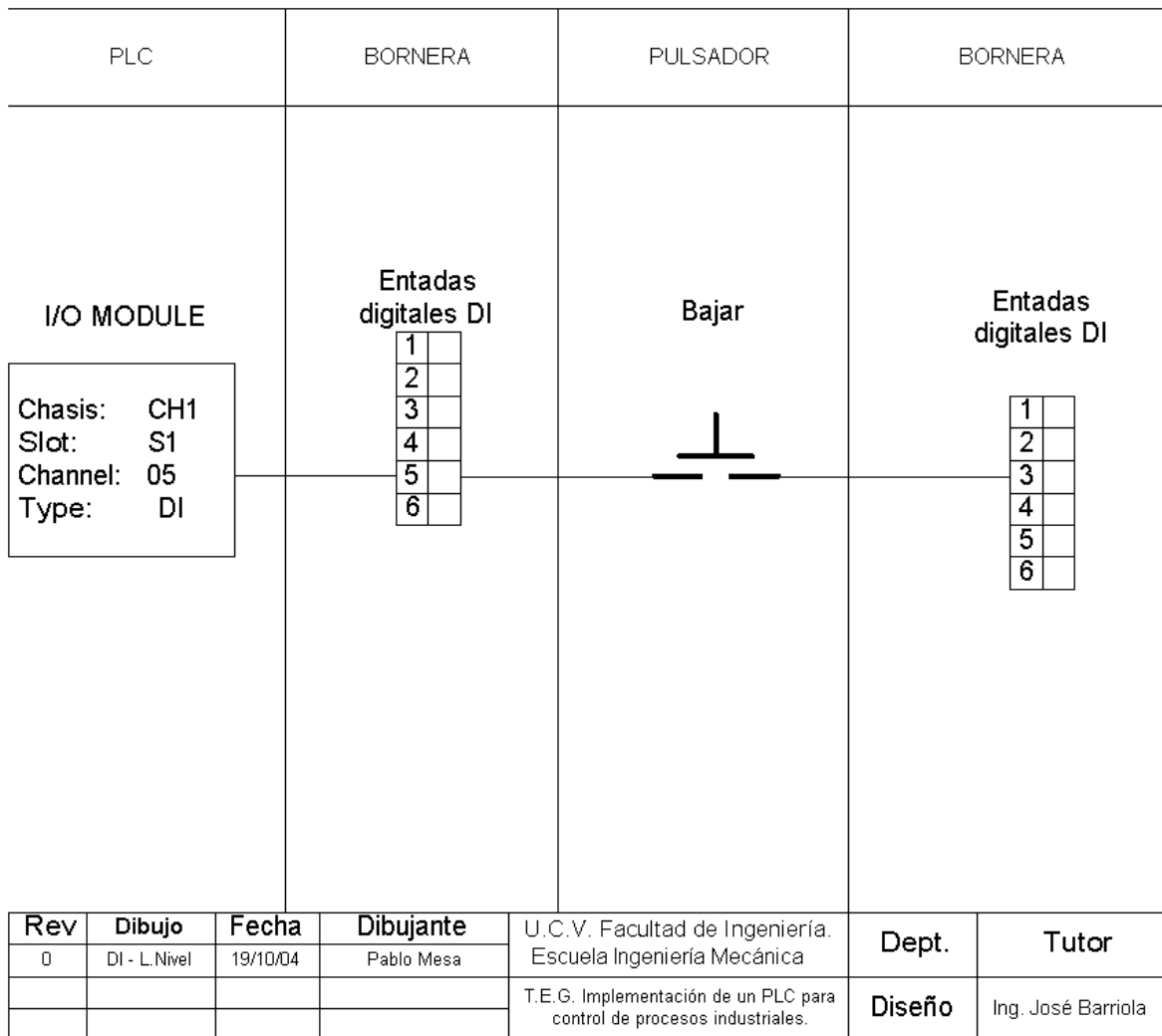
Relativos al valor proporcional, integral y derivativo (PID):

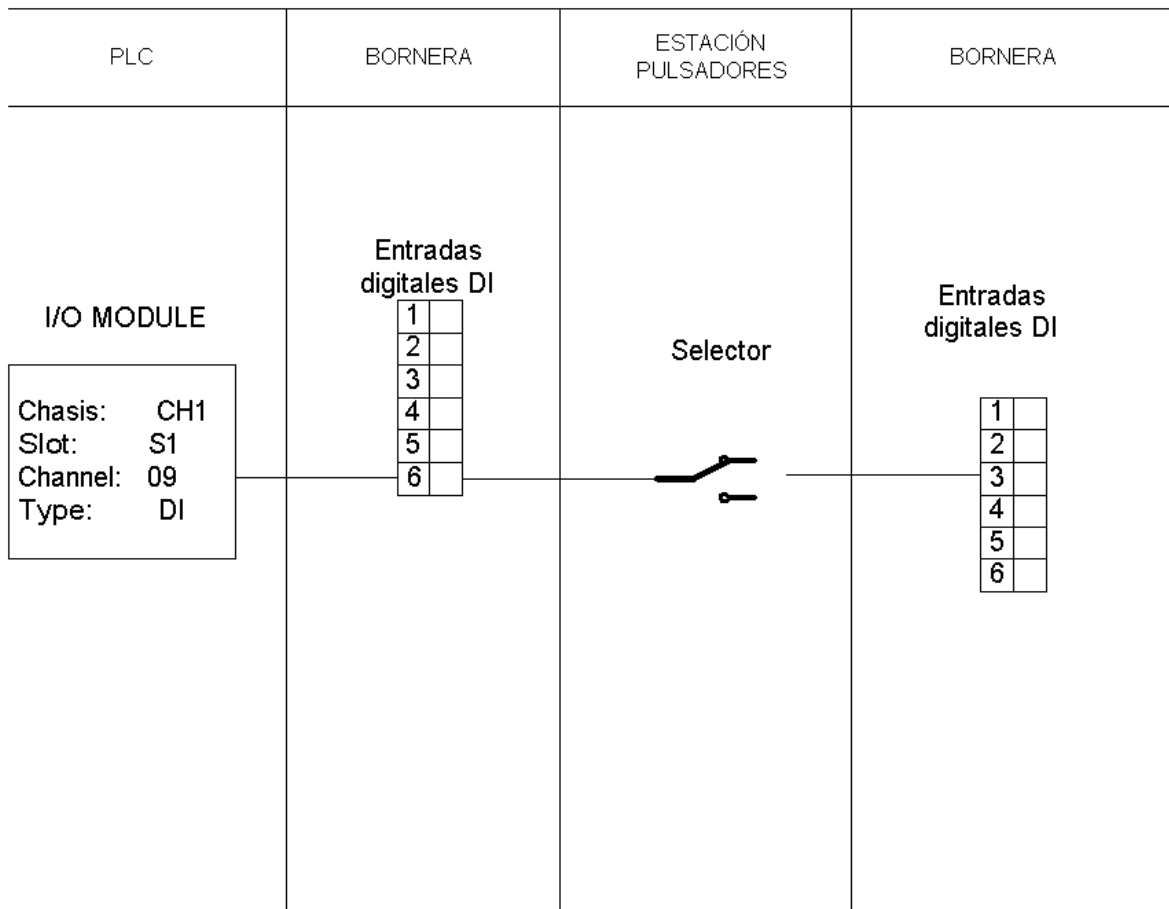
Valor Proporcional, Integral y Derivativo P, I, D	
Valor P:	%
Valor I:	%
Valor D:	%
Set Point inicial:	%
Set Point final:	%
Tamaño escalón:	%
Tiempo para estabilizar:	
Error en Edo. estable:	%

ANEXO IV

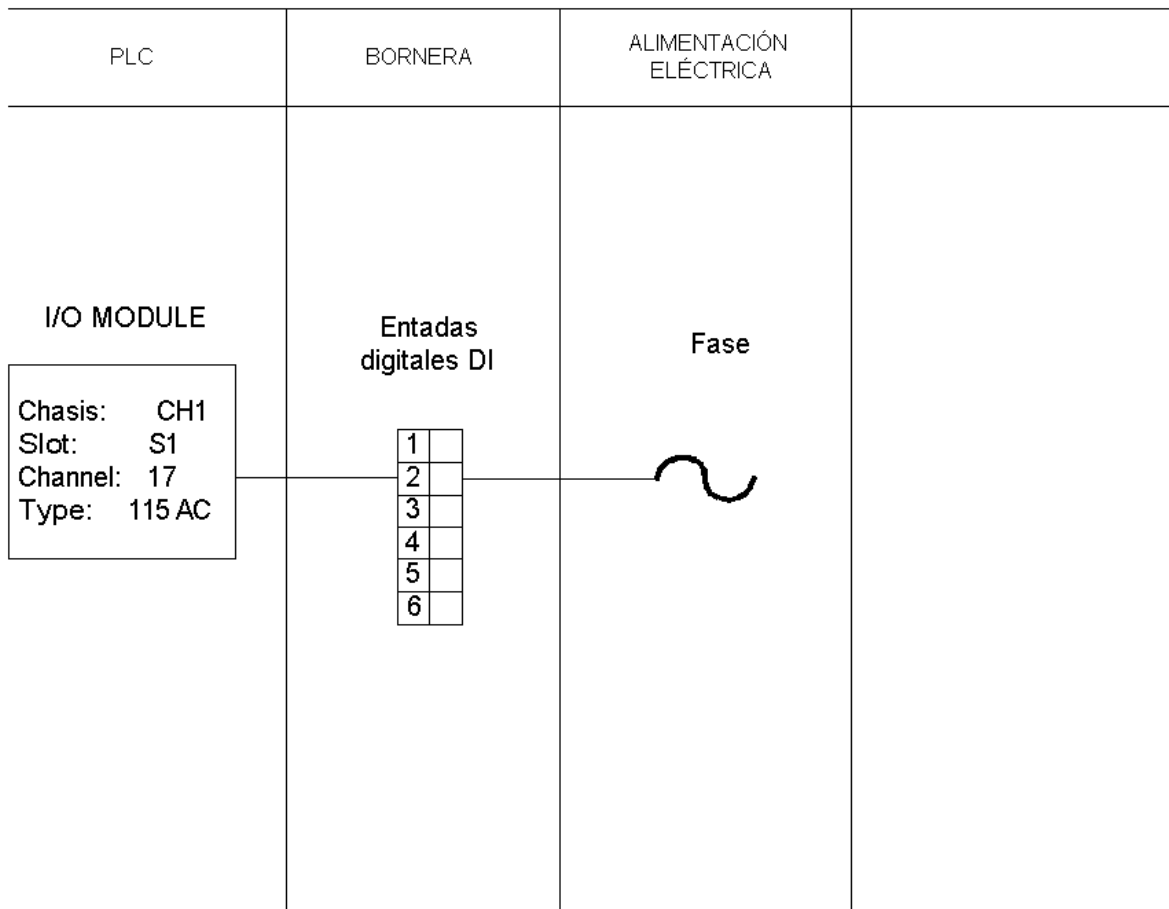
Cableado de los Procesos de Control



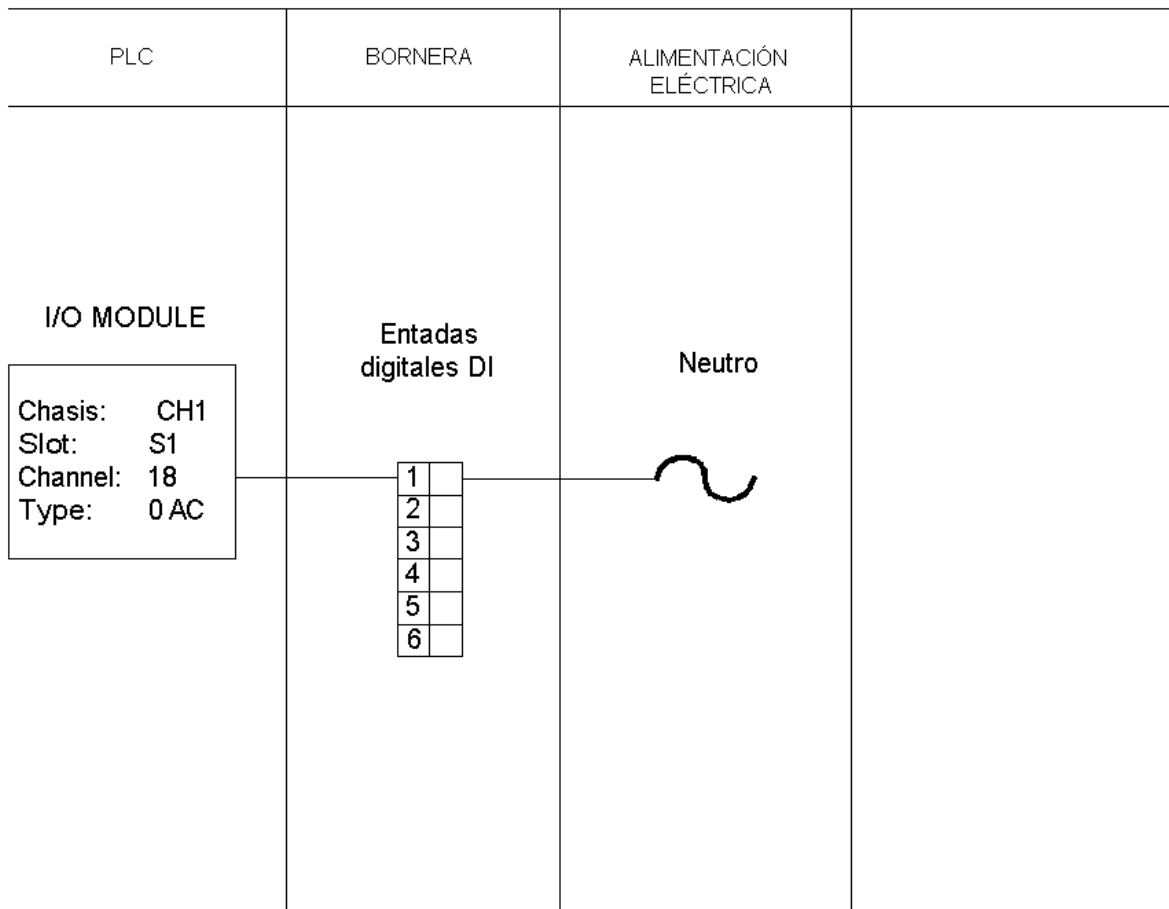




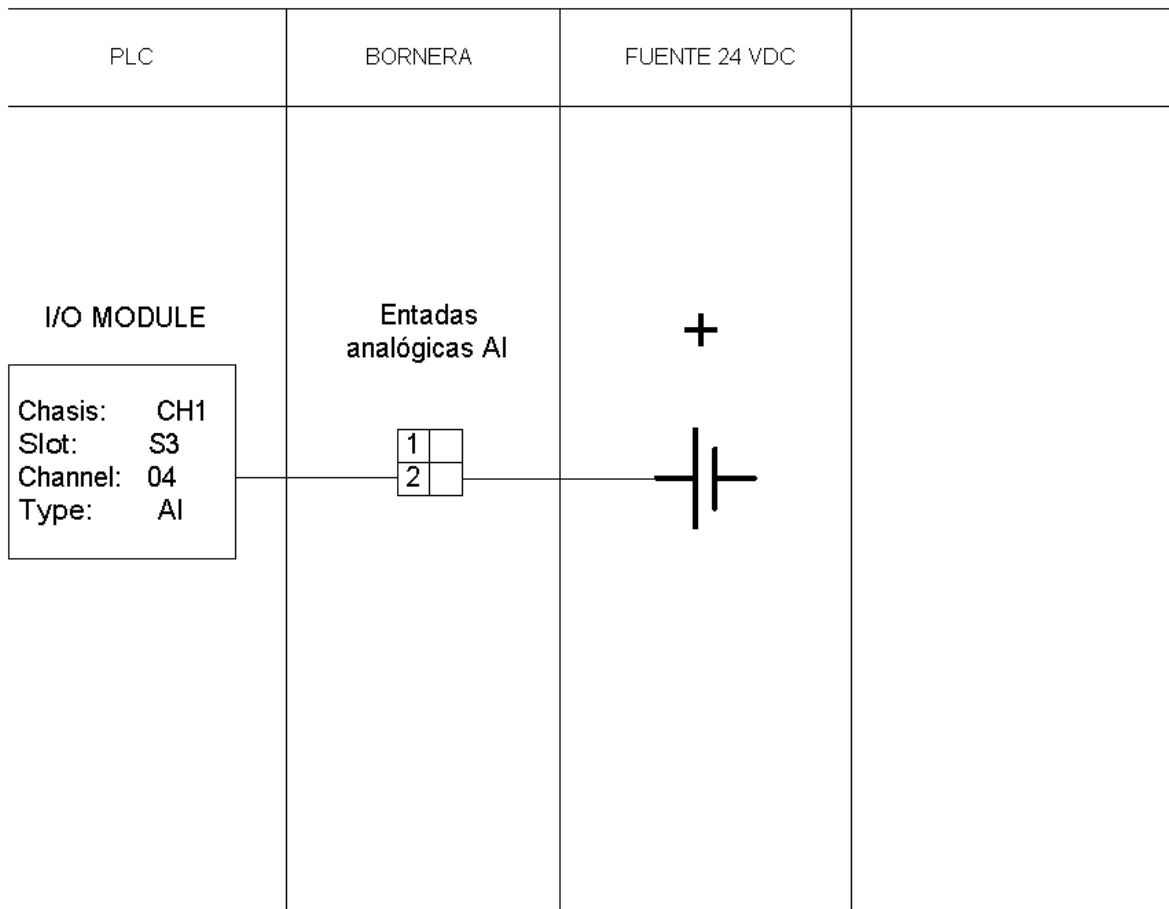
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DI - L.Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



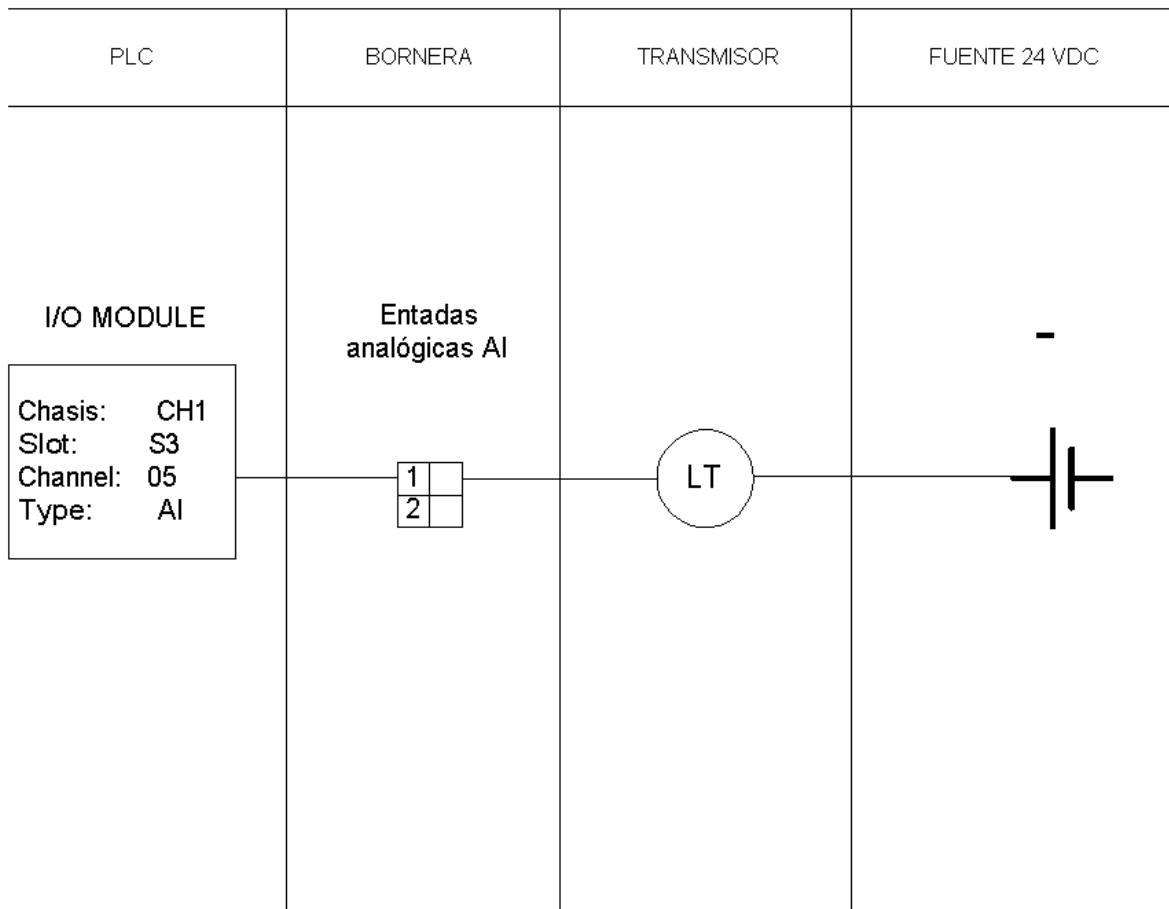
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



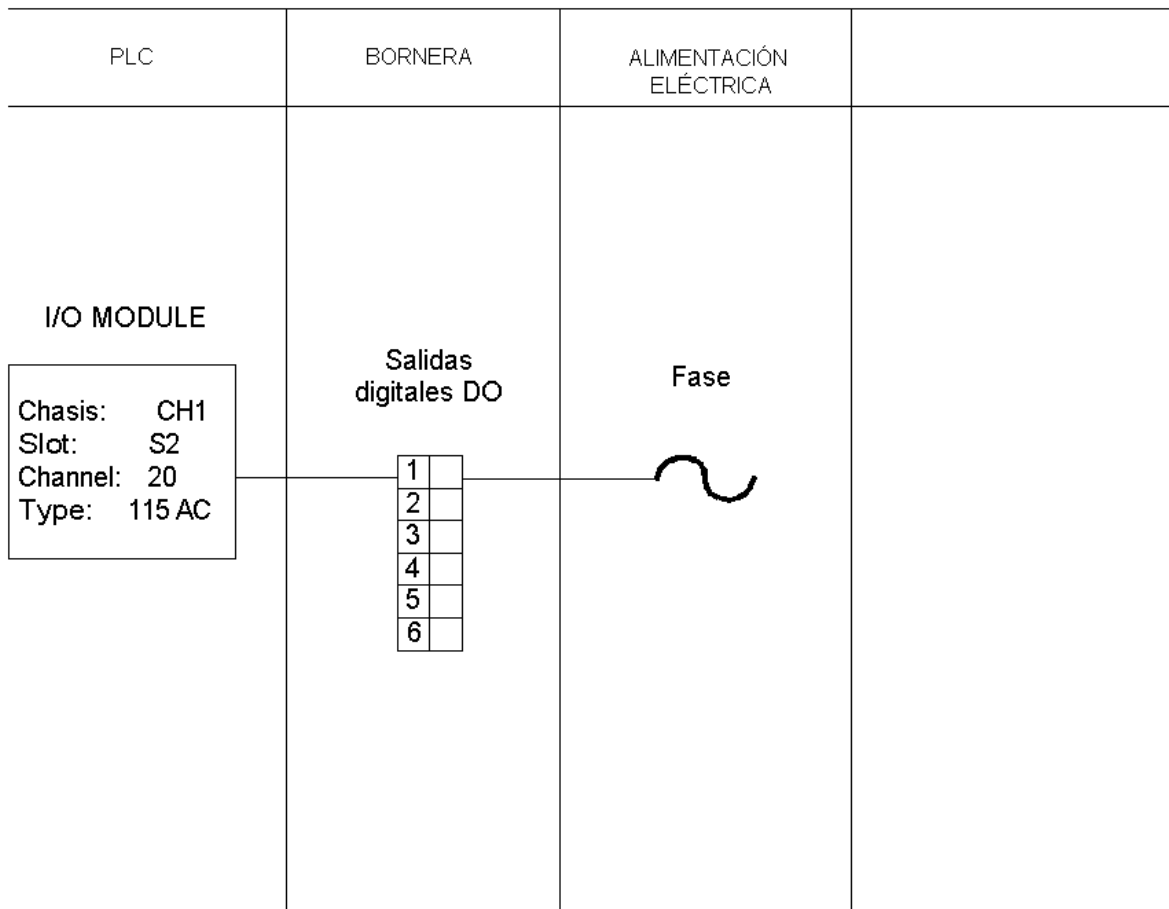
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



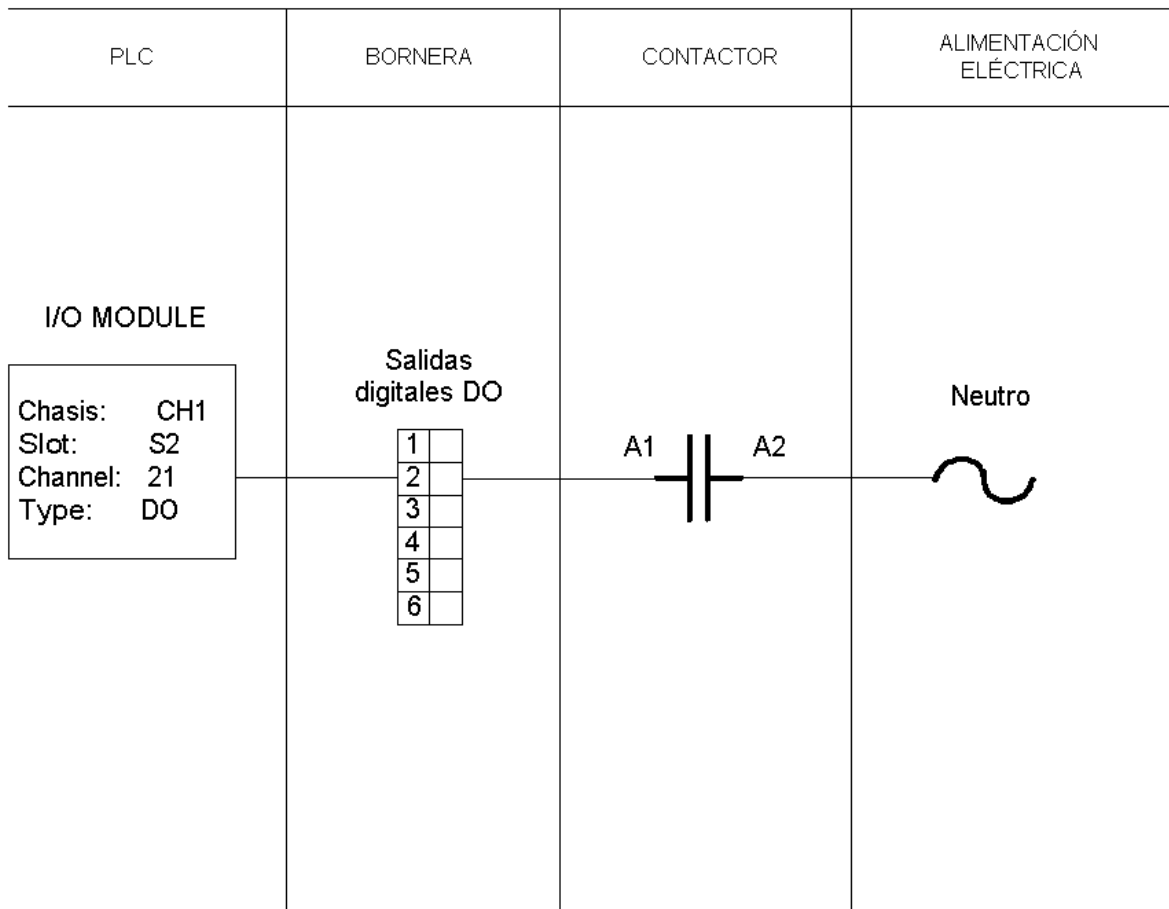
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



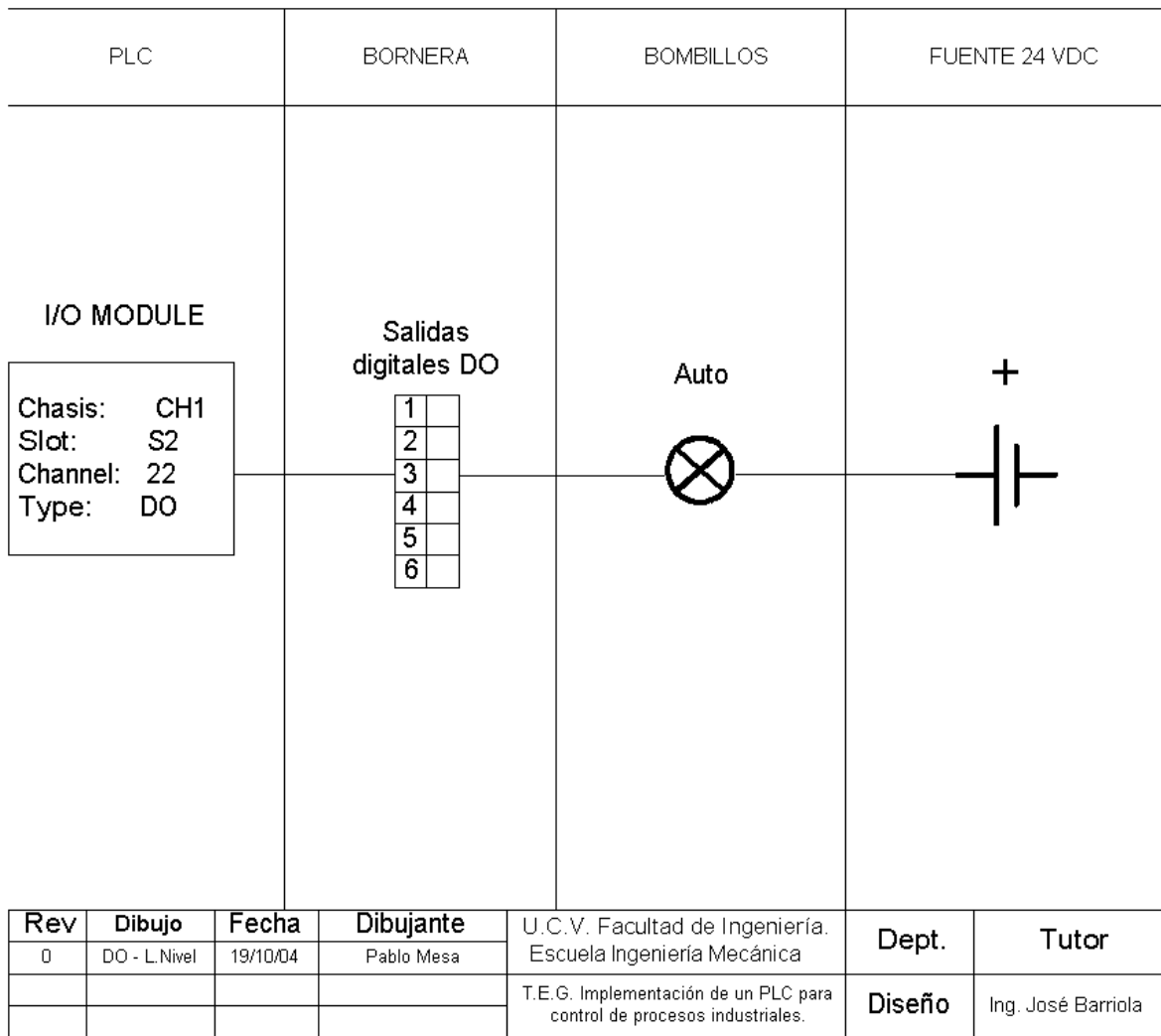
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

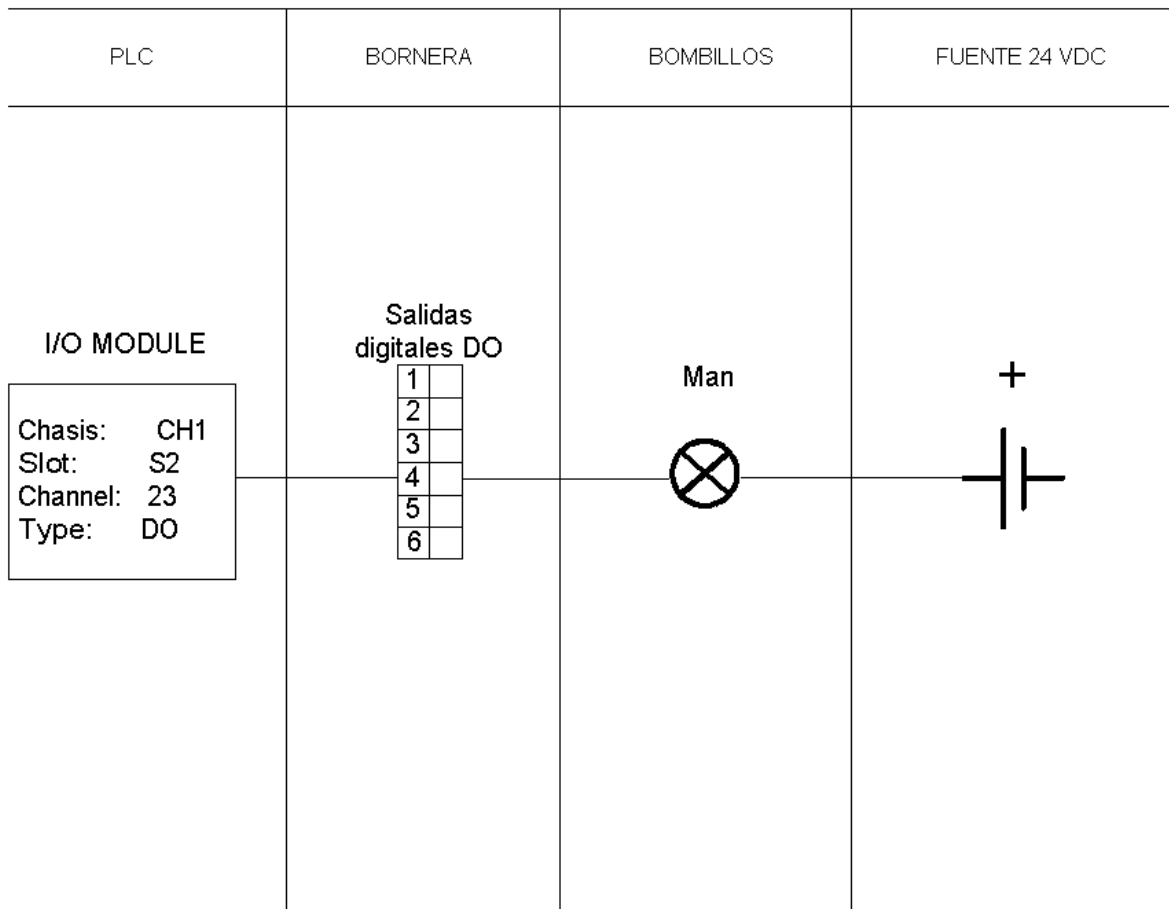


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

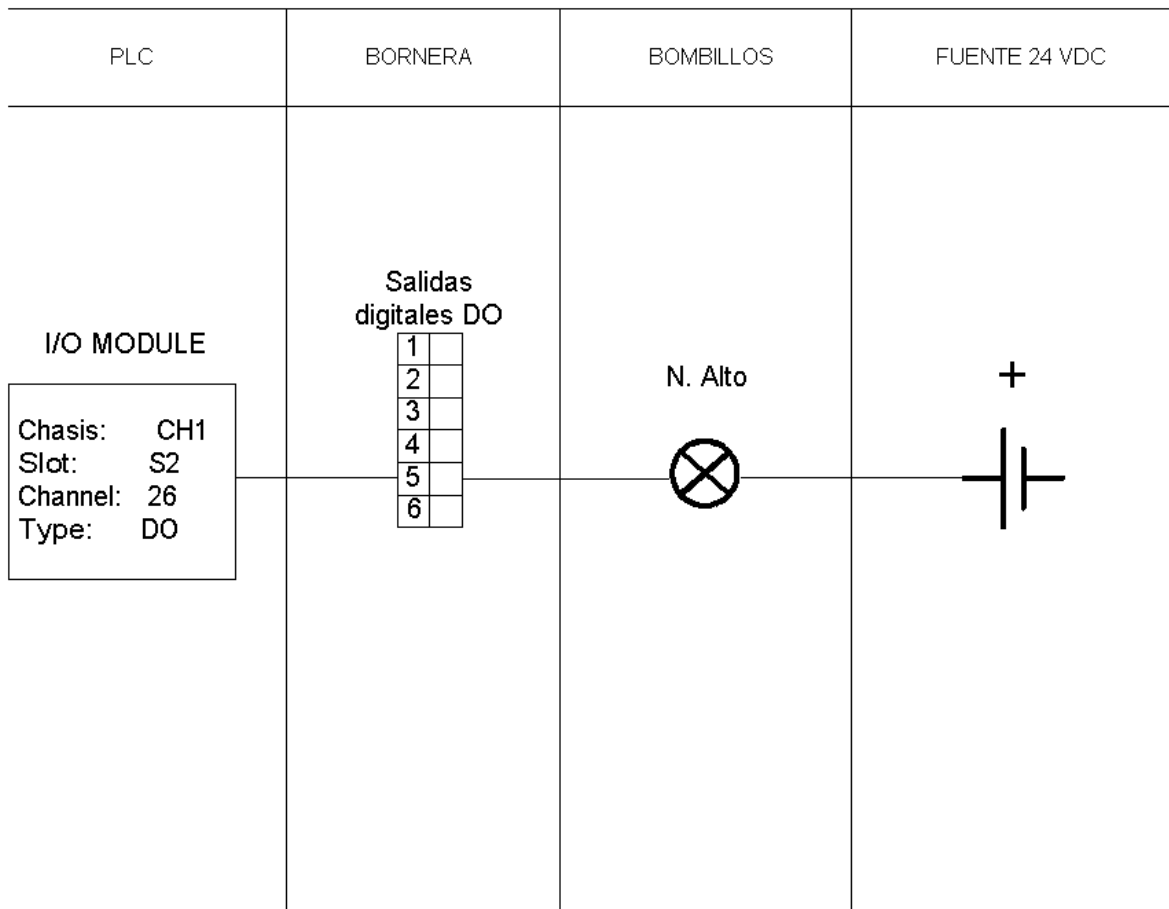


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

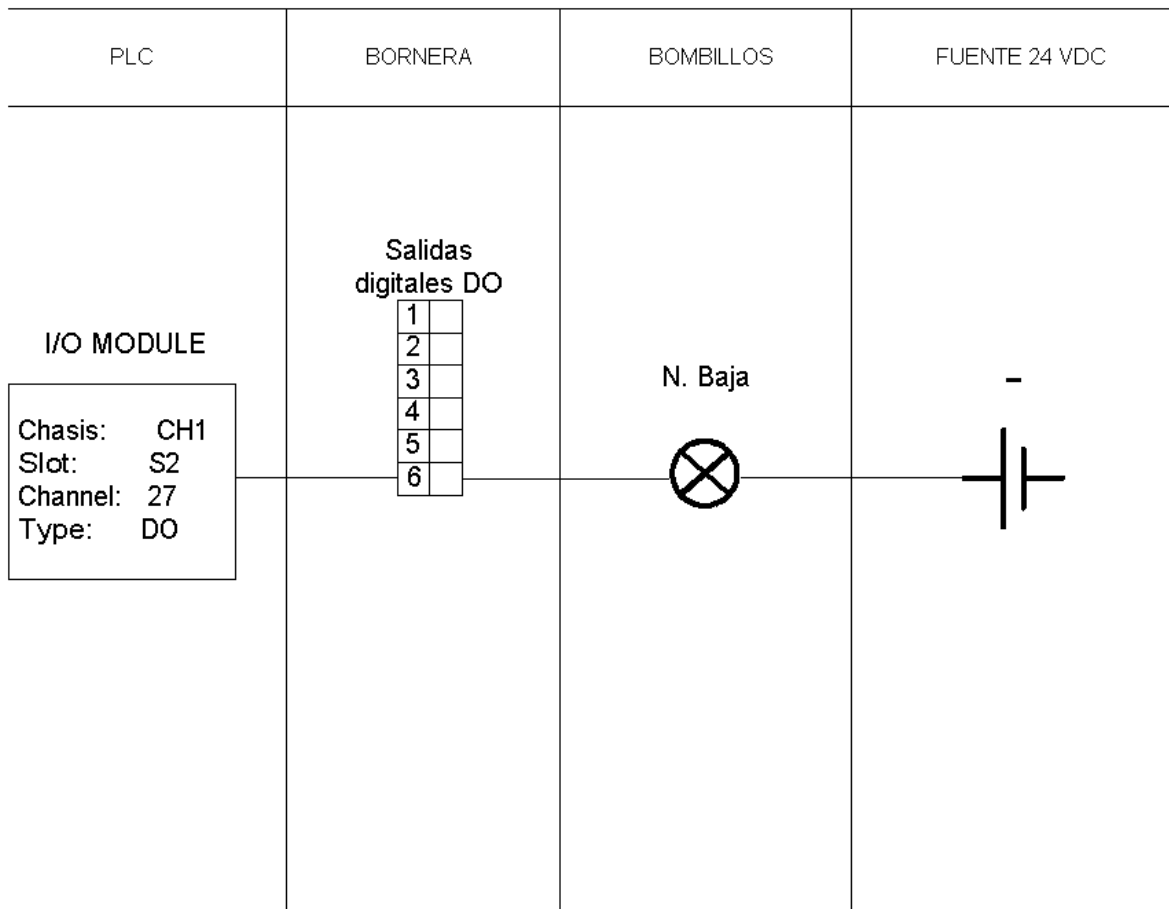




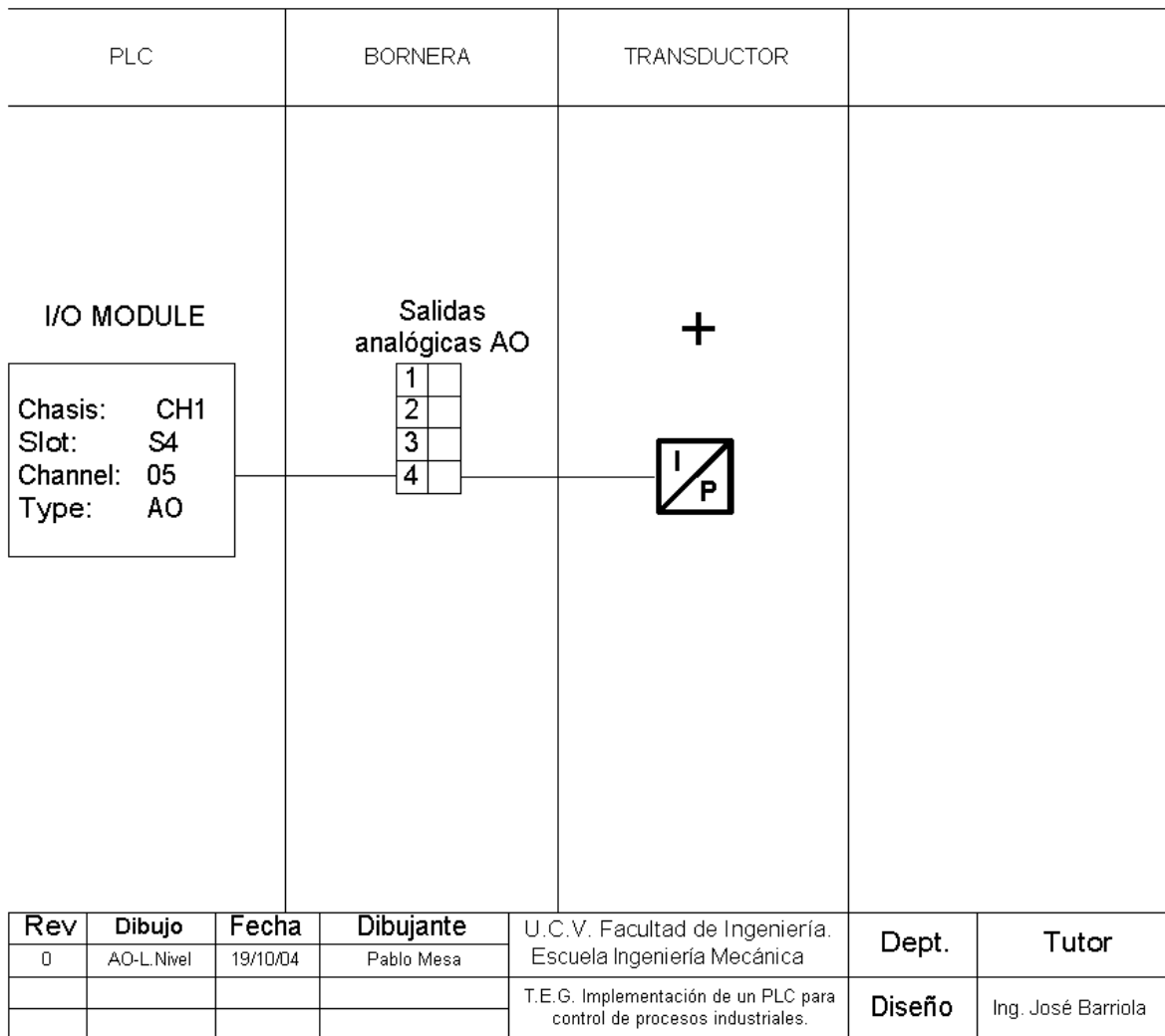
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola

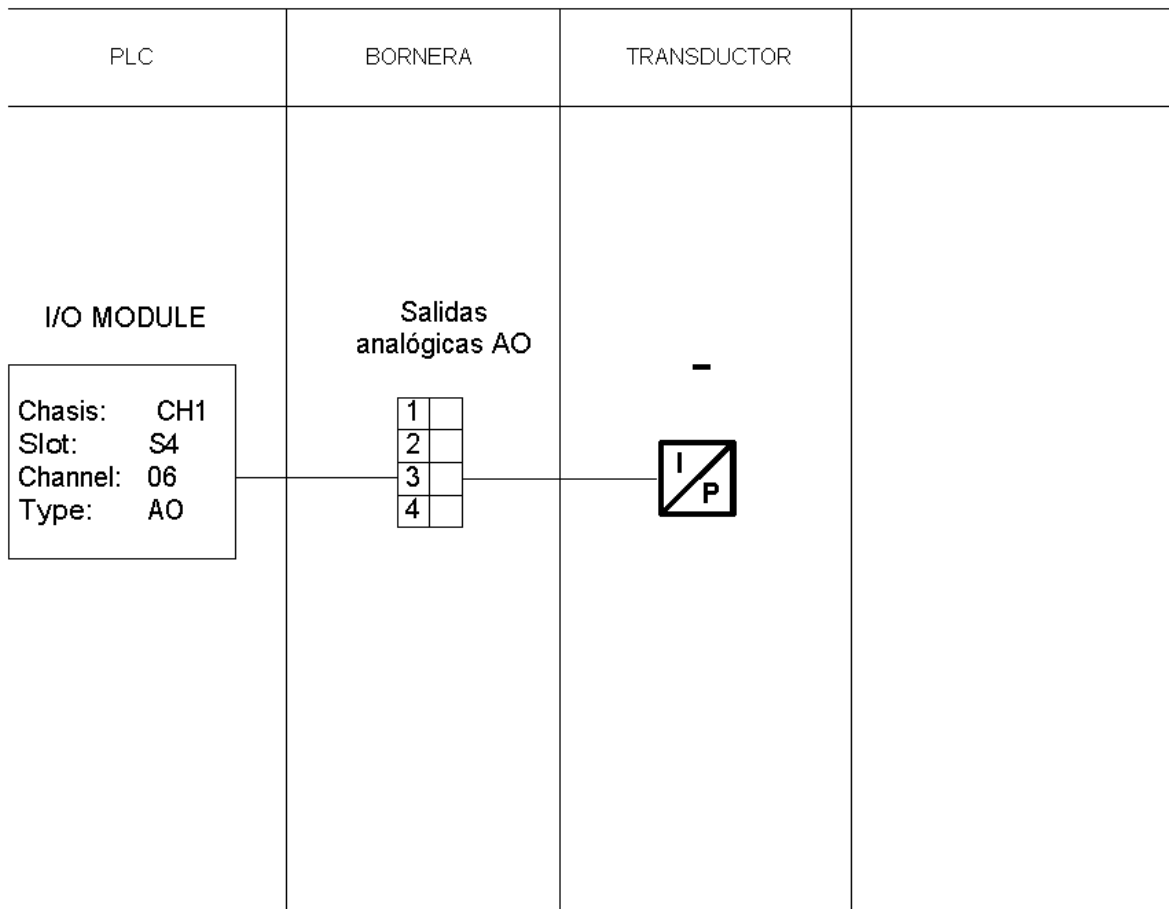


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

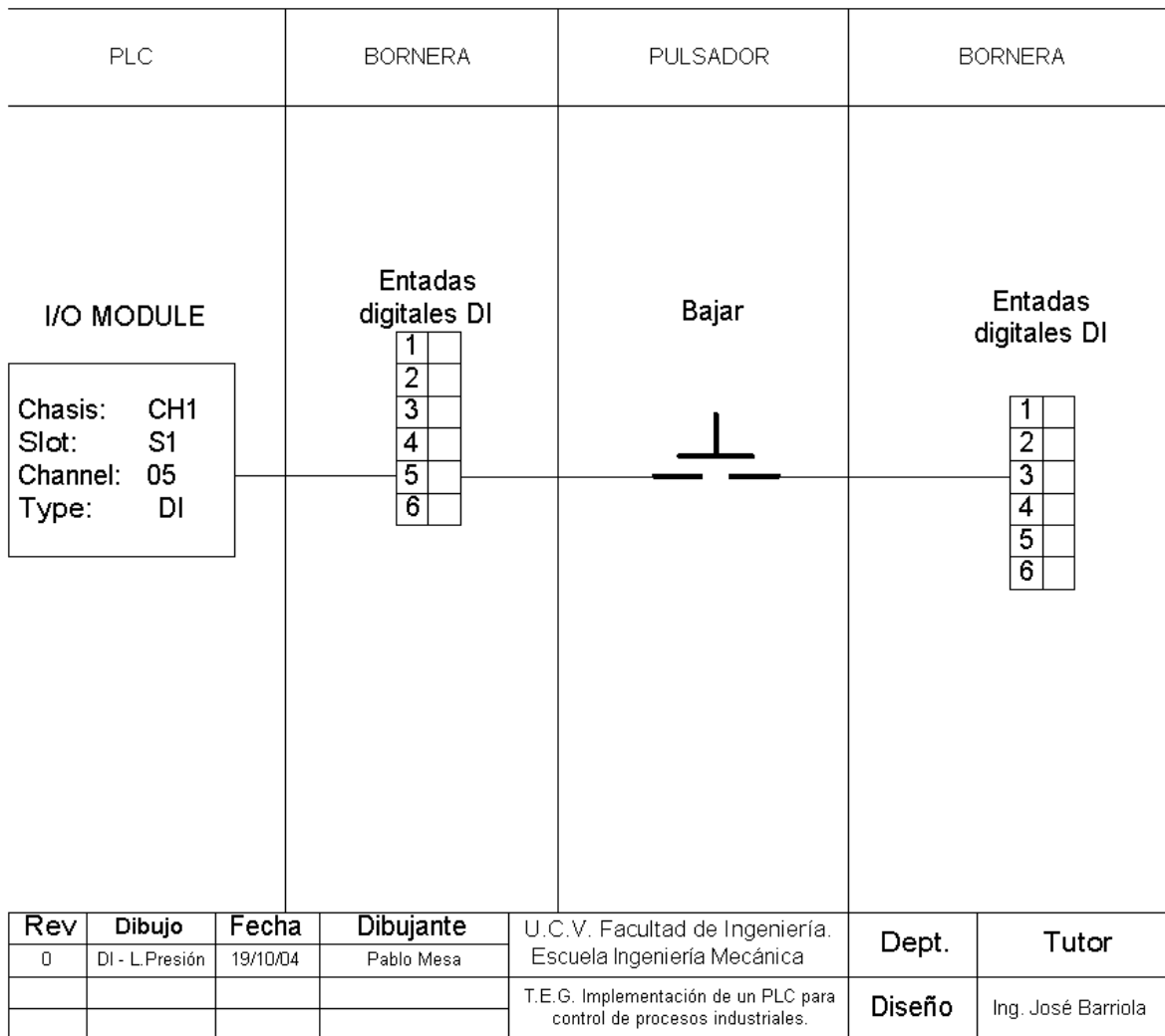


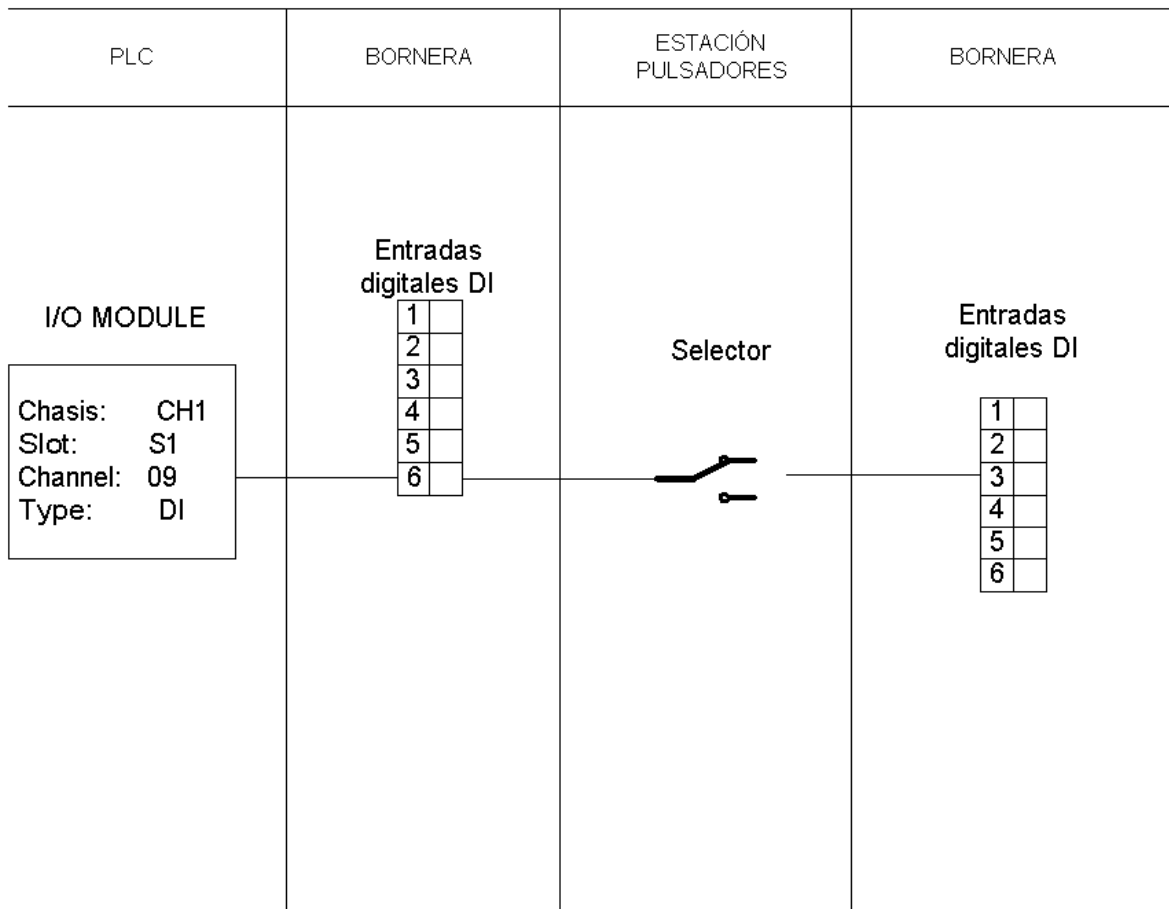
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO - L Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



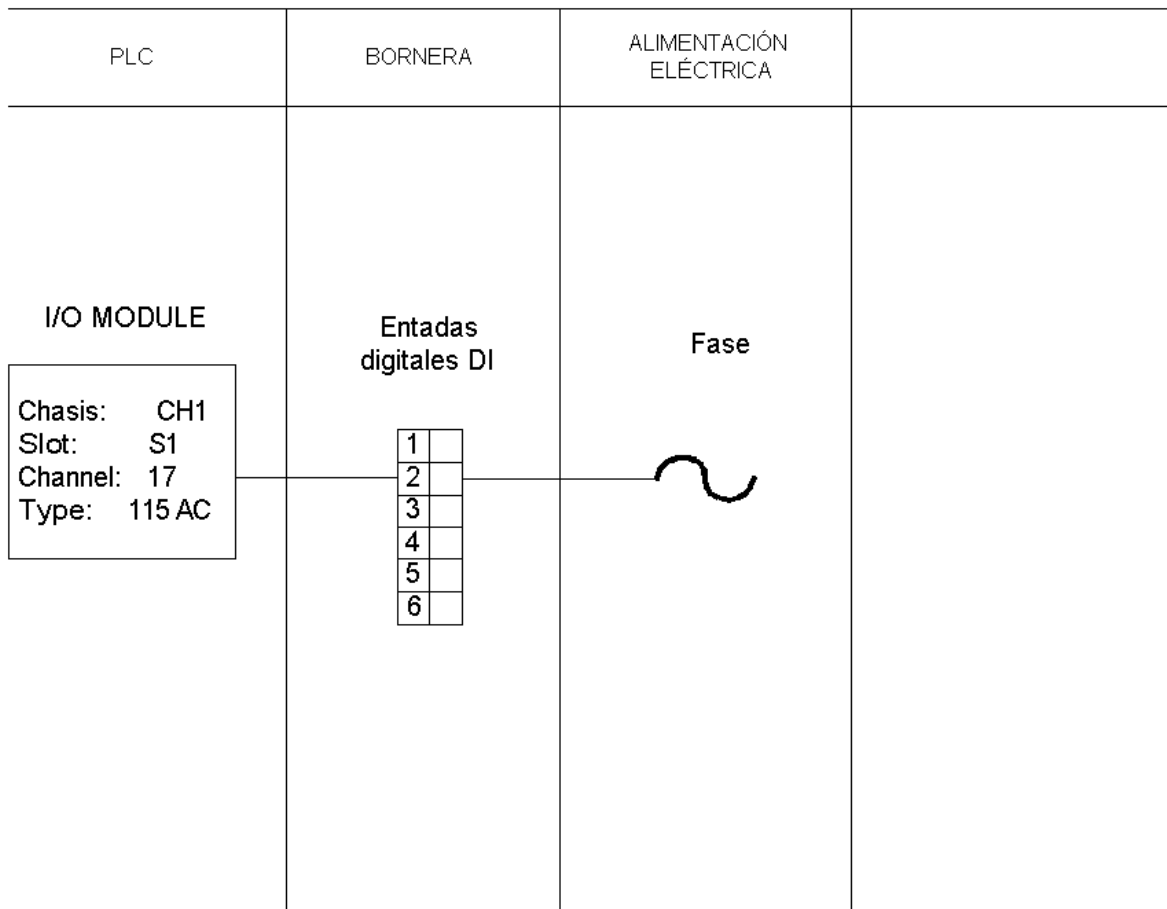


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO- L.Nivel	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola

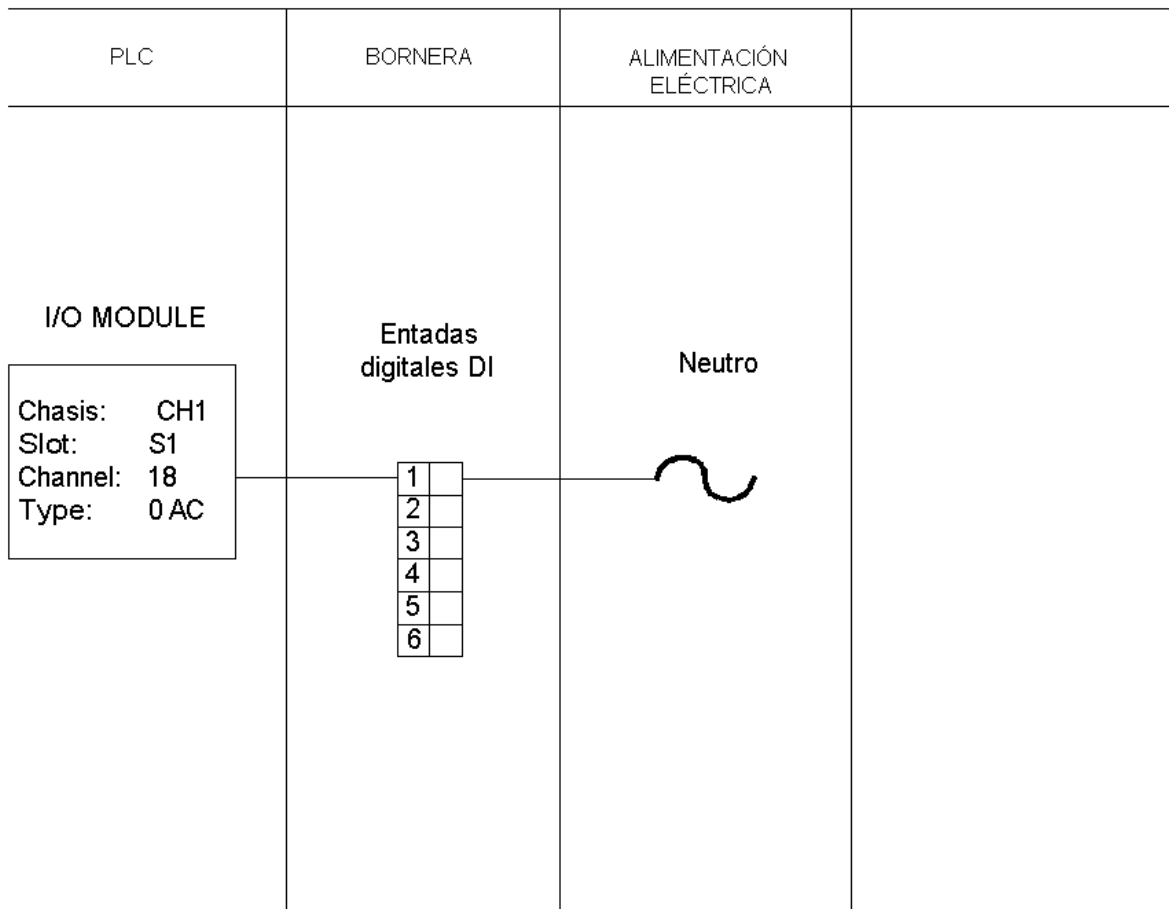




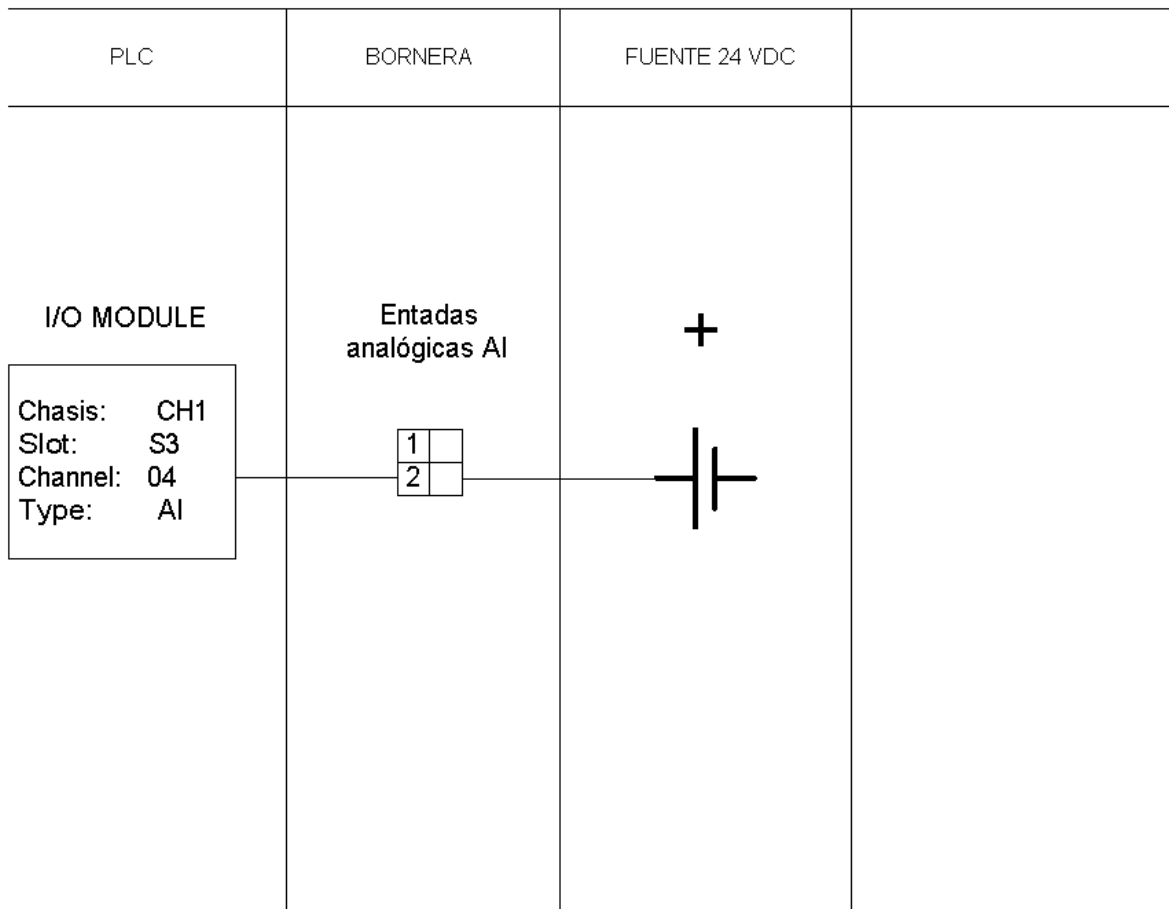
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DI - L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



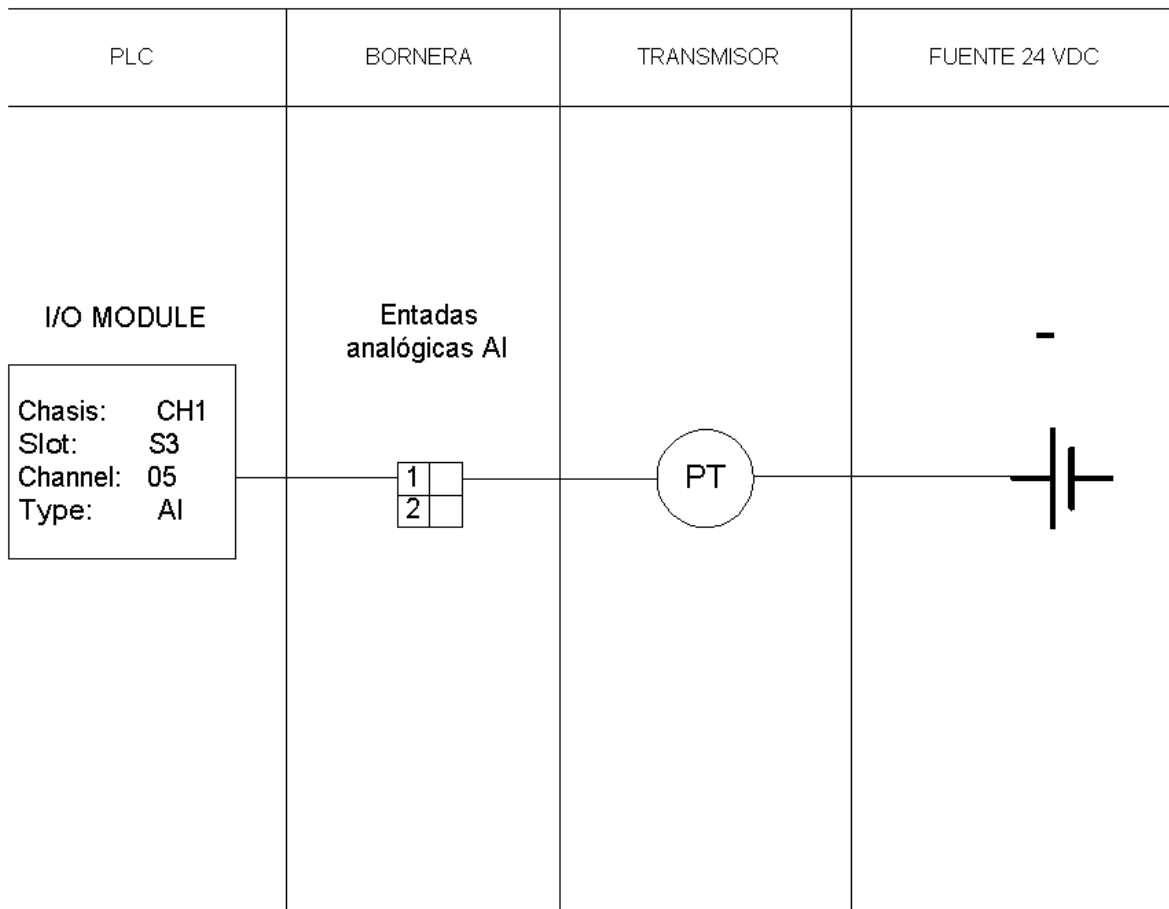
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



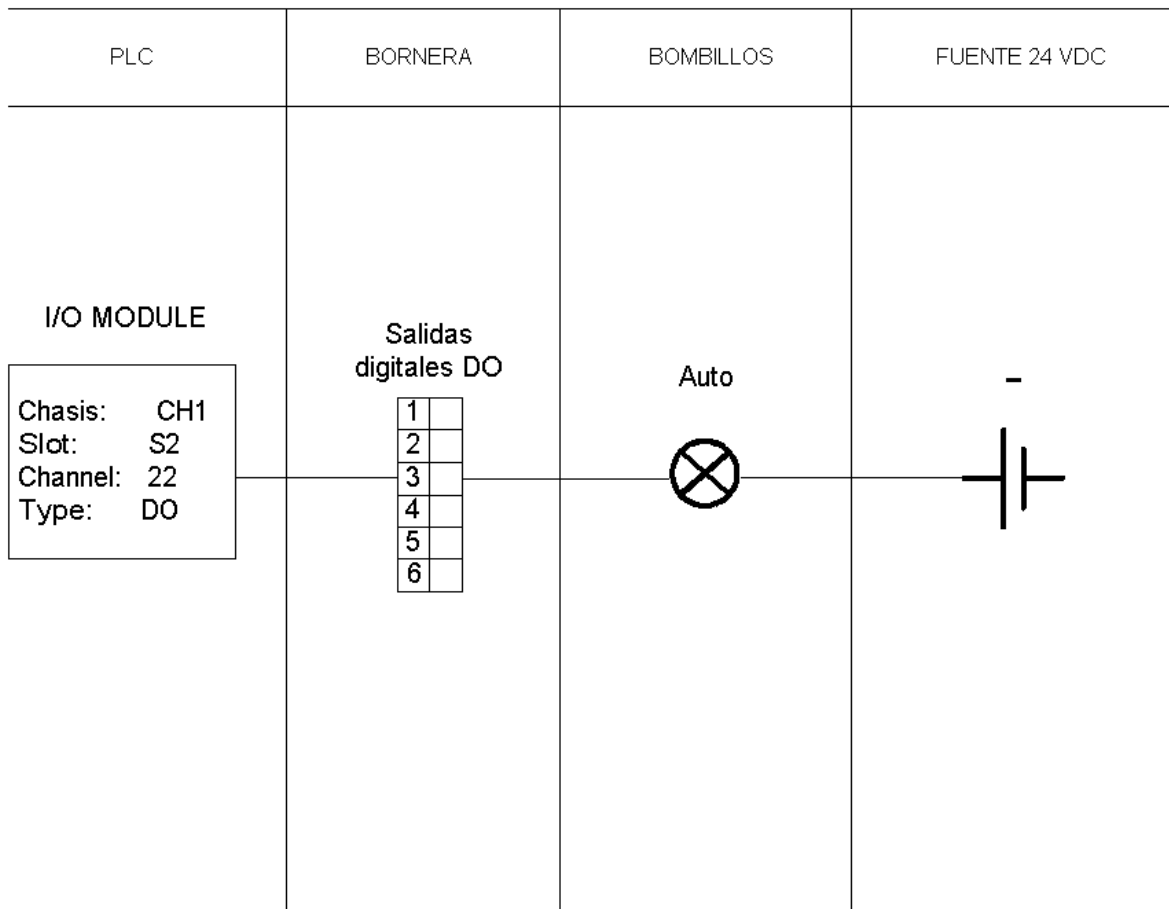
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



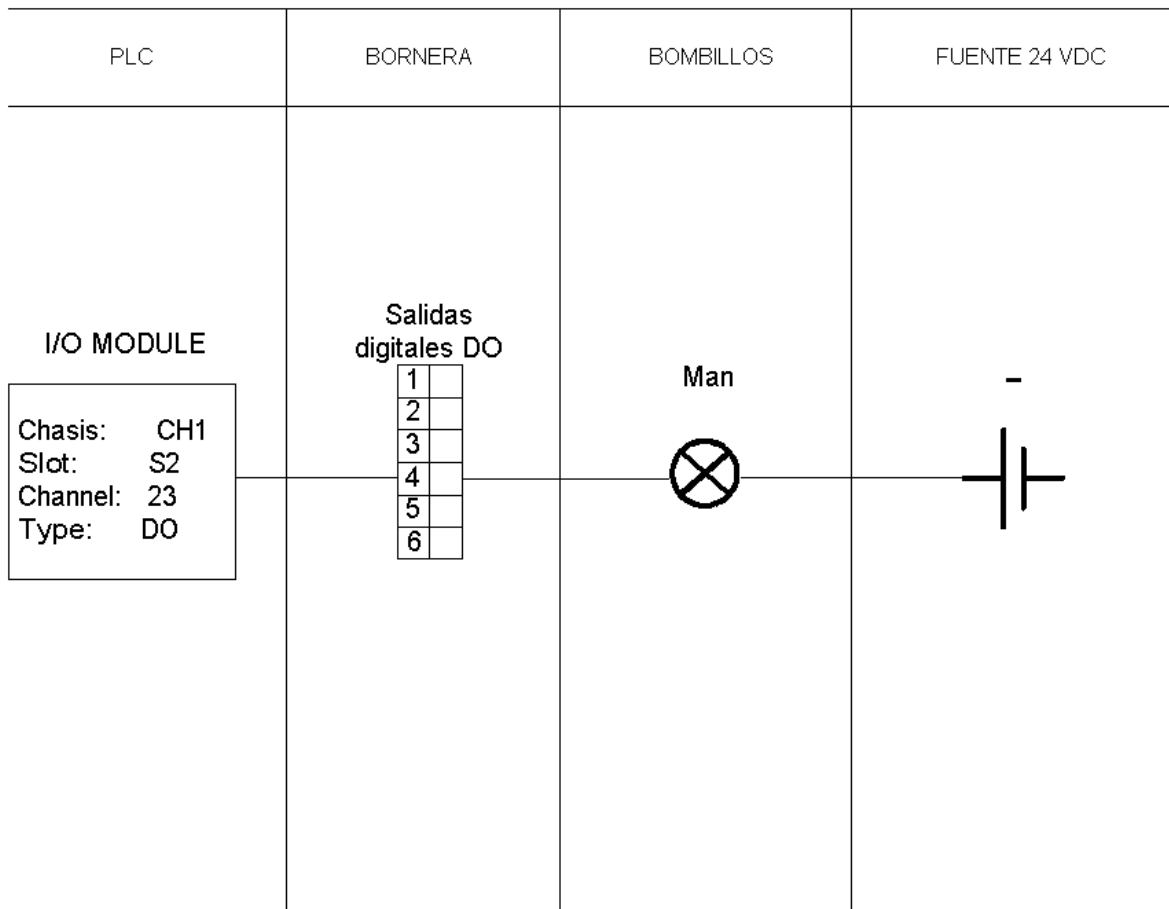
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI - L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



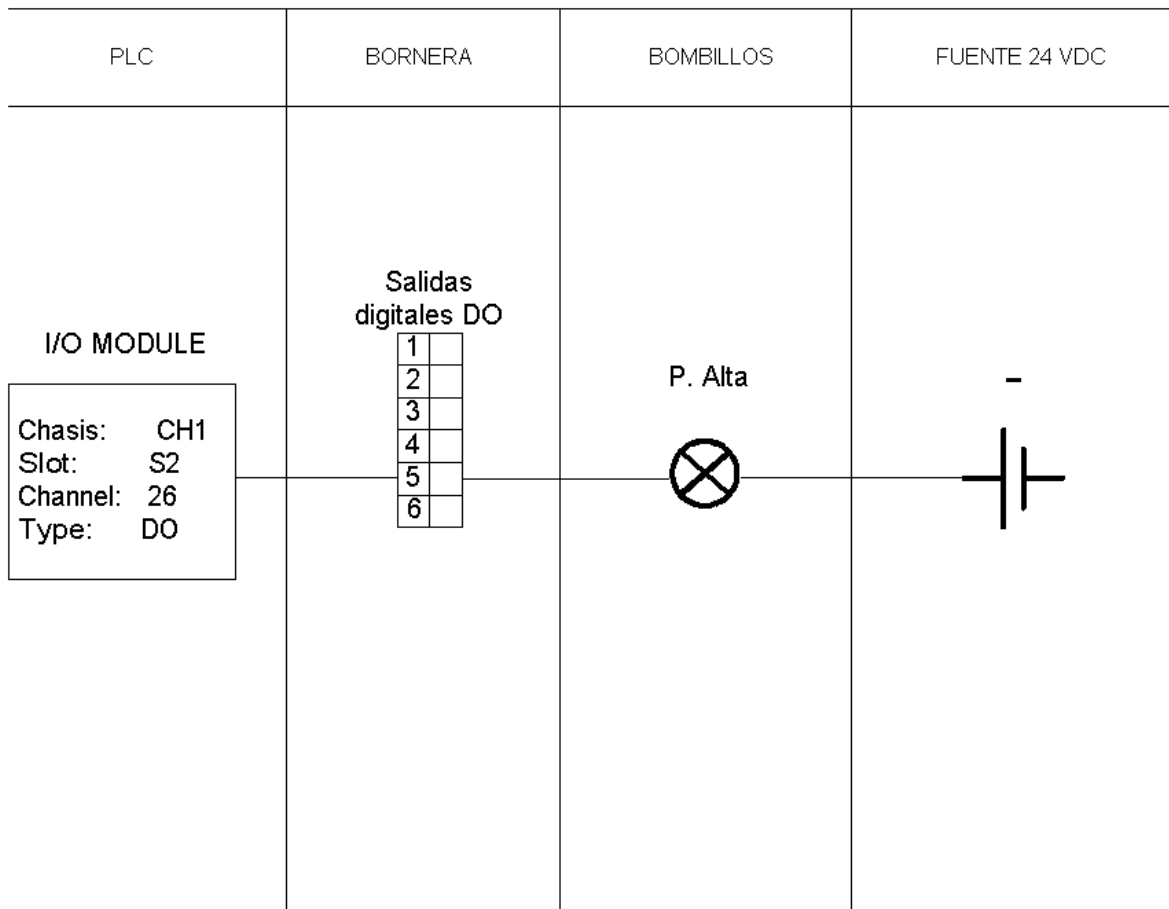
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI - L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



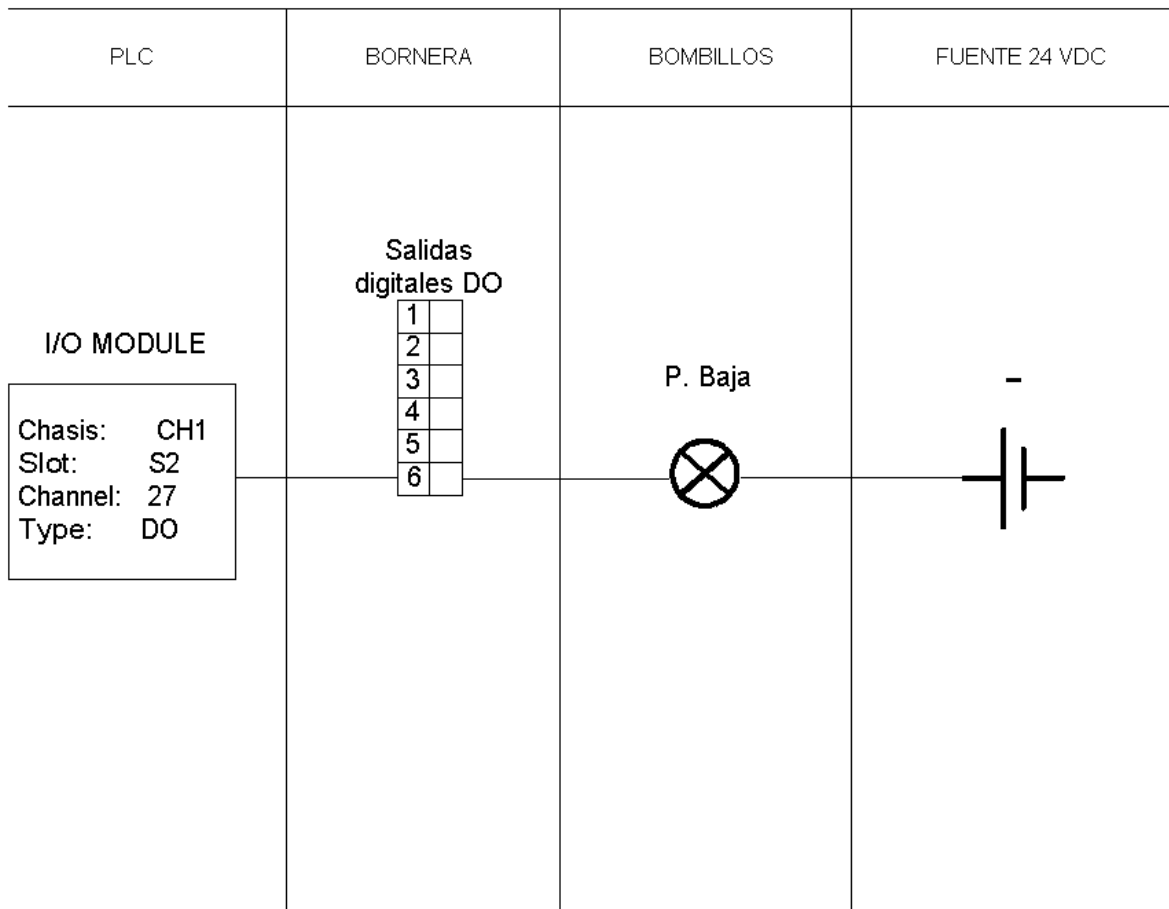
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



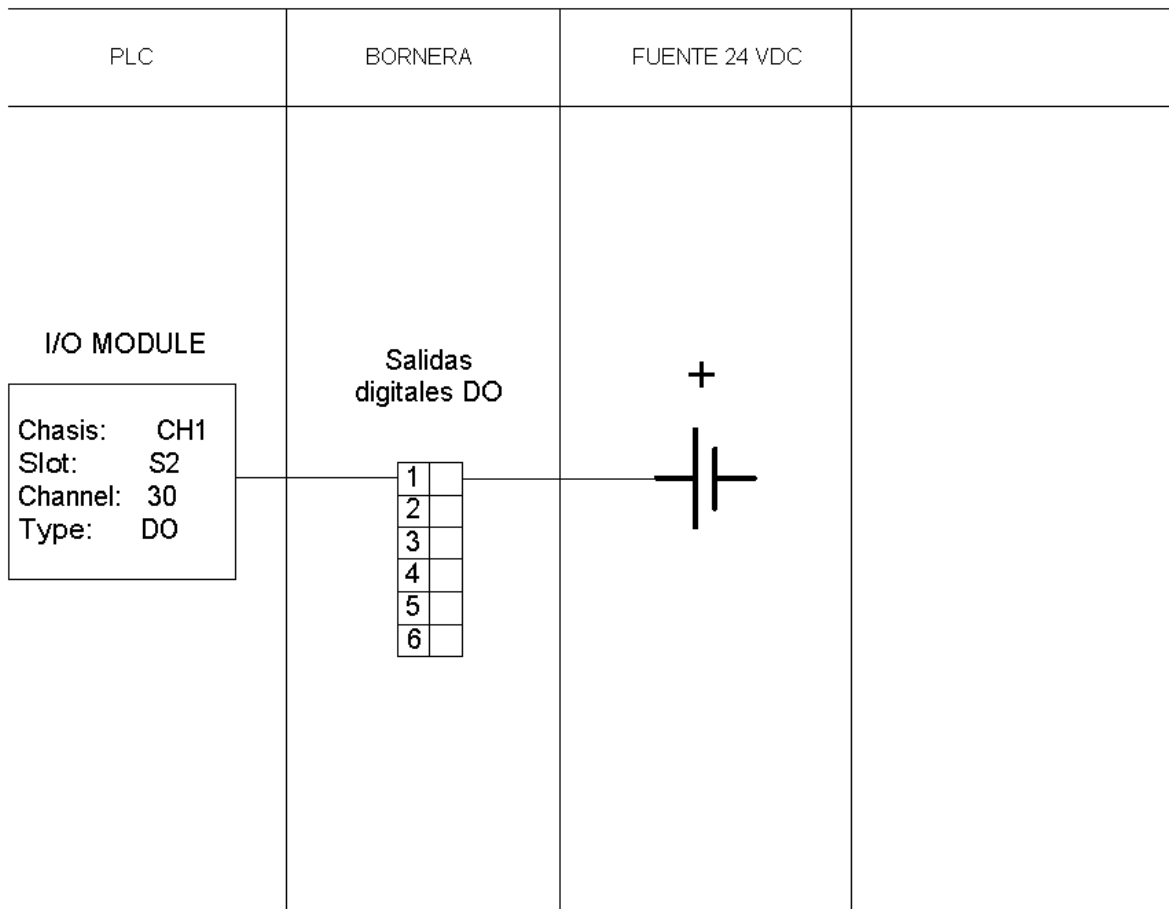
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



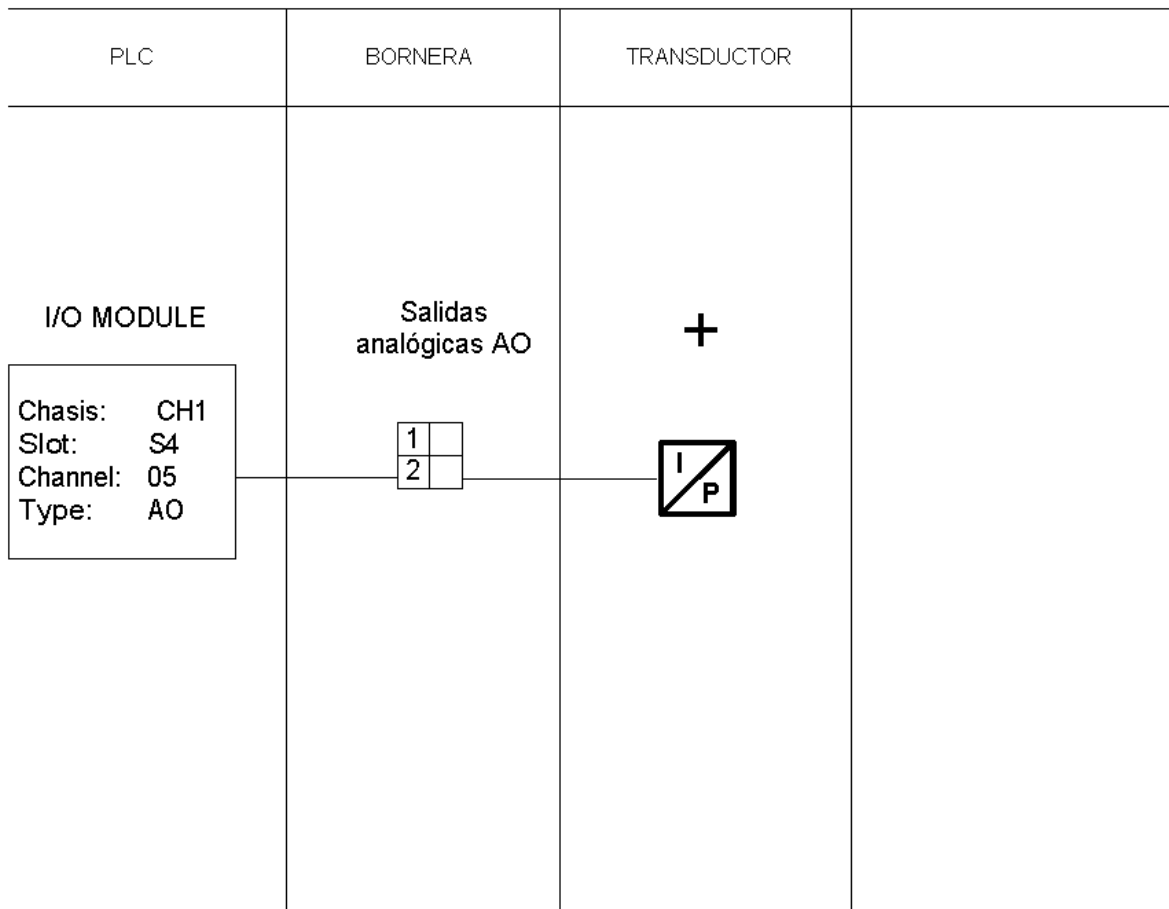
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



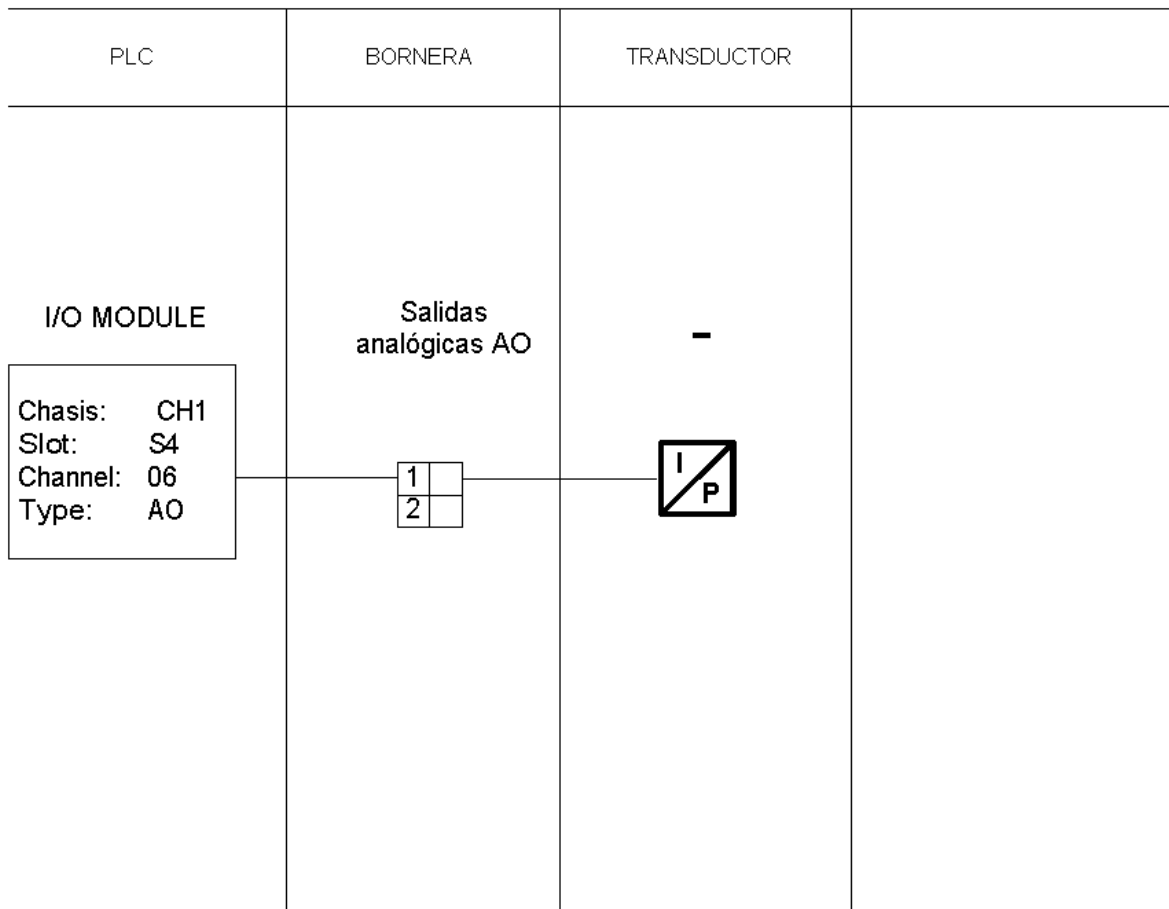
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



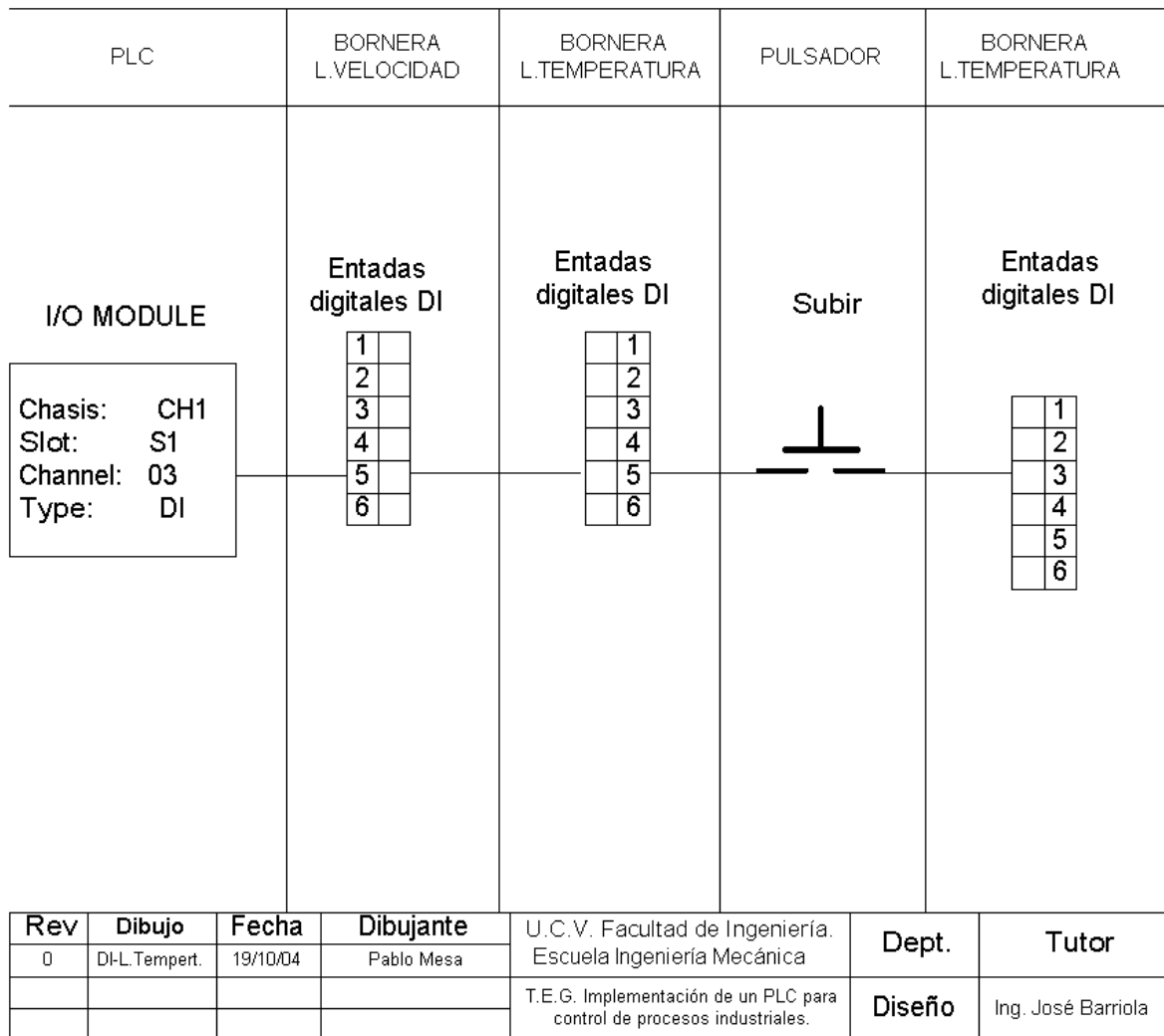
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

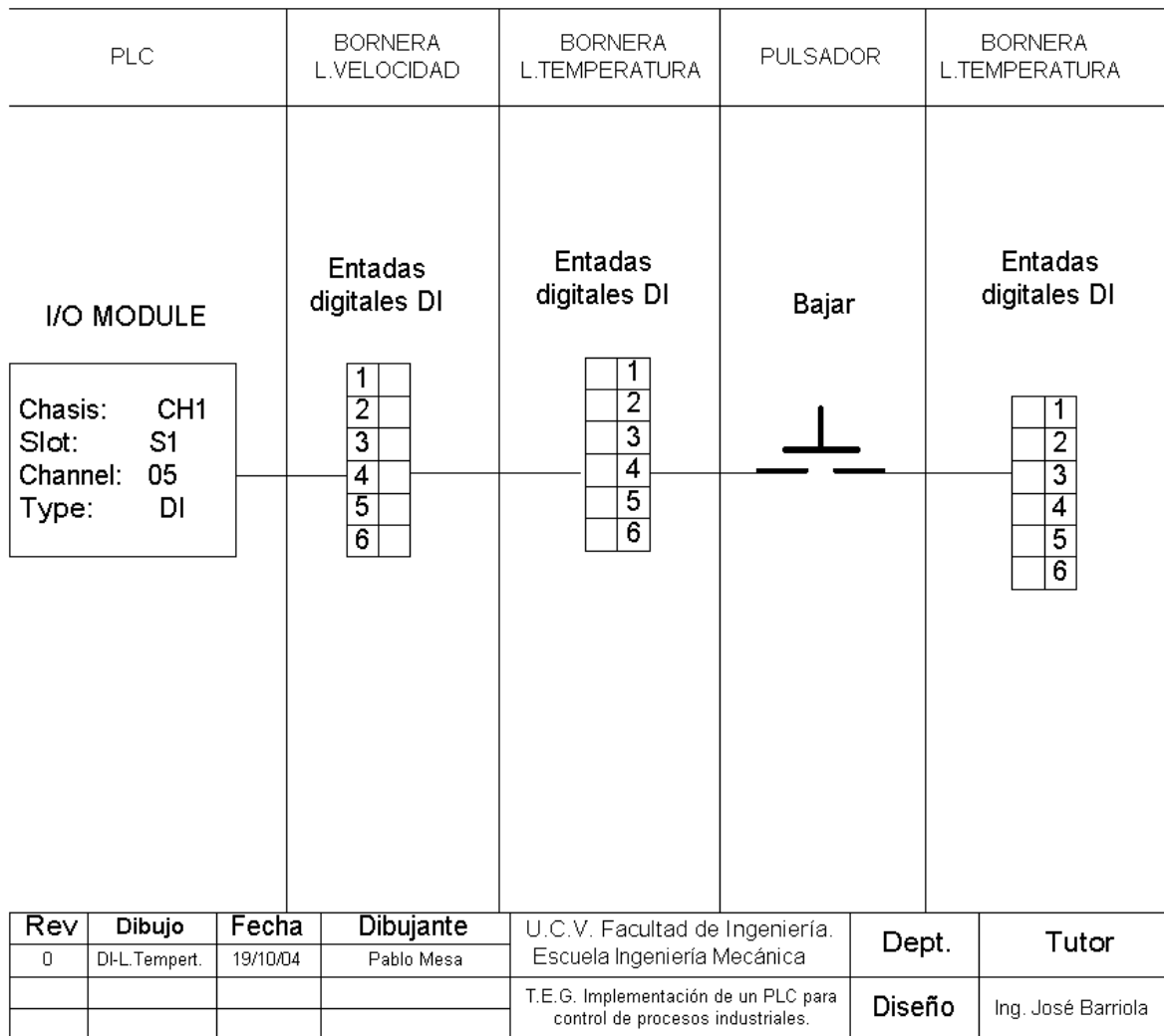


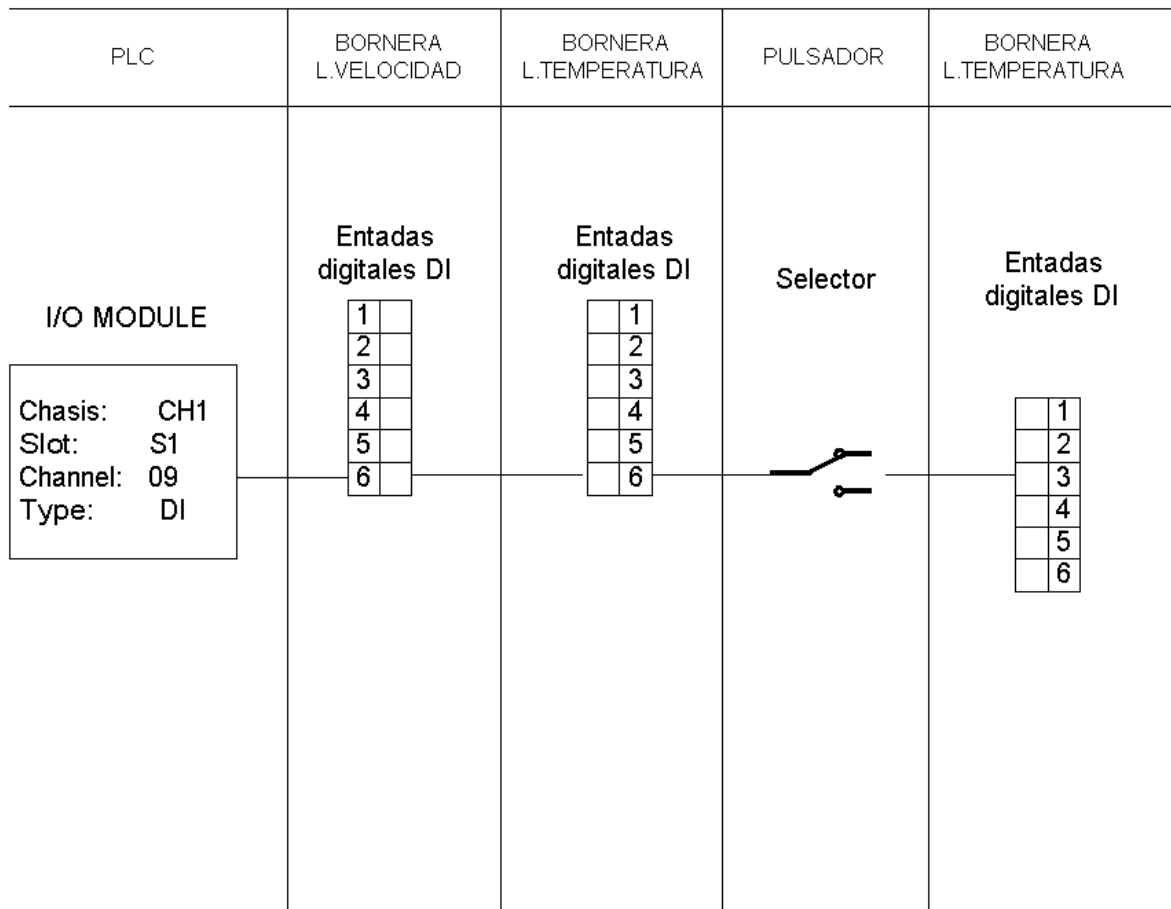
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



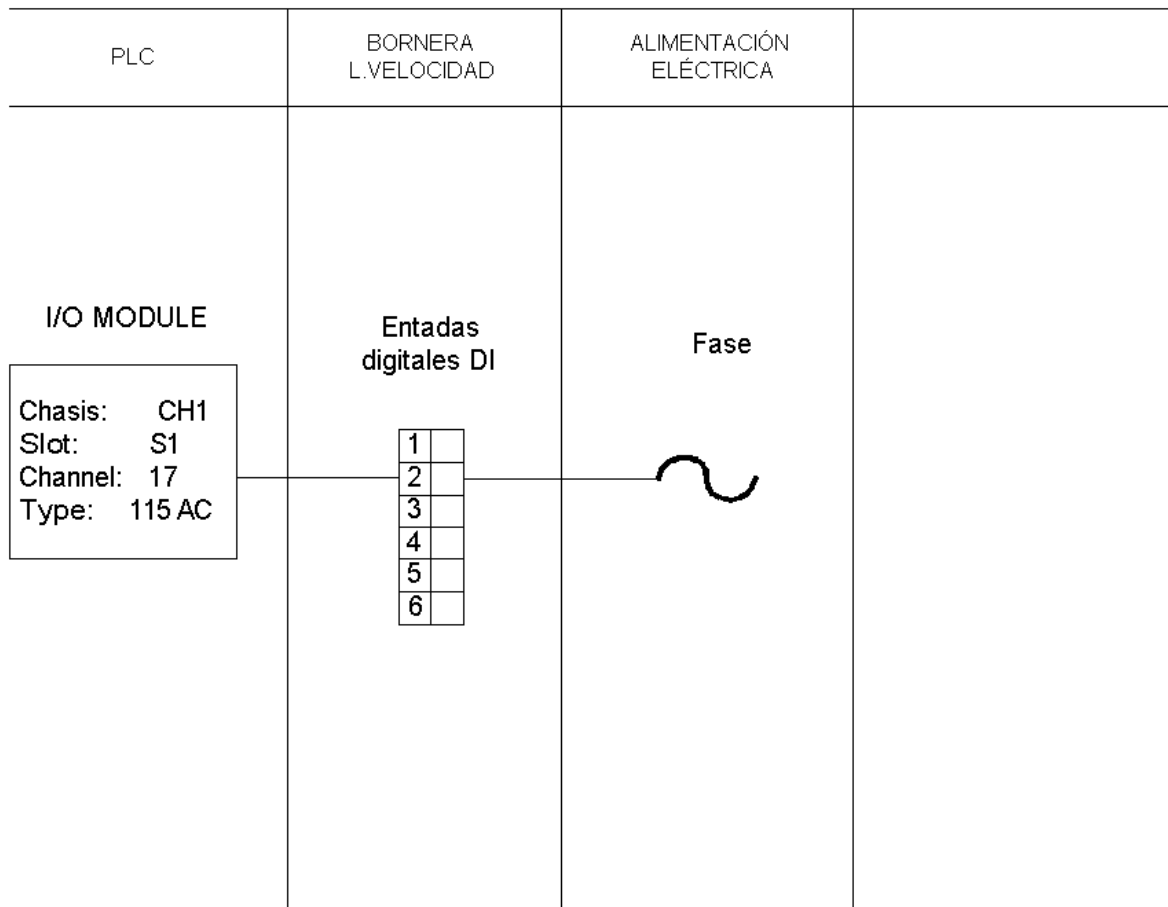
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Presión	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



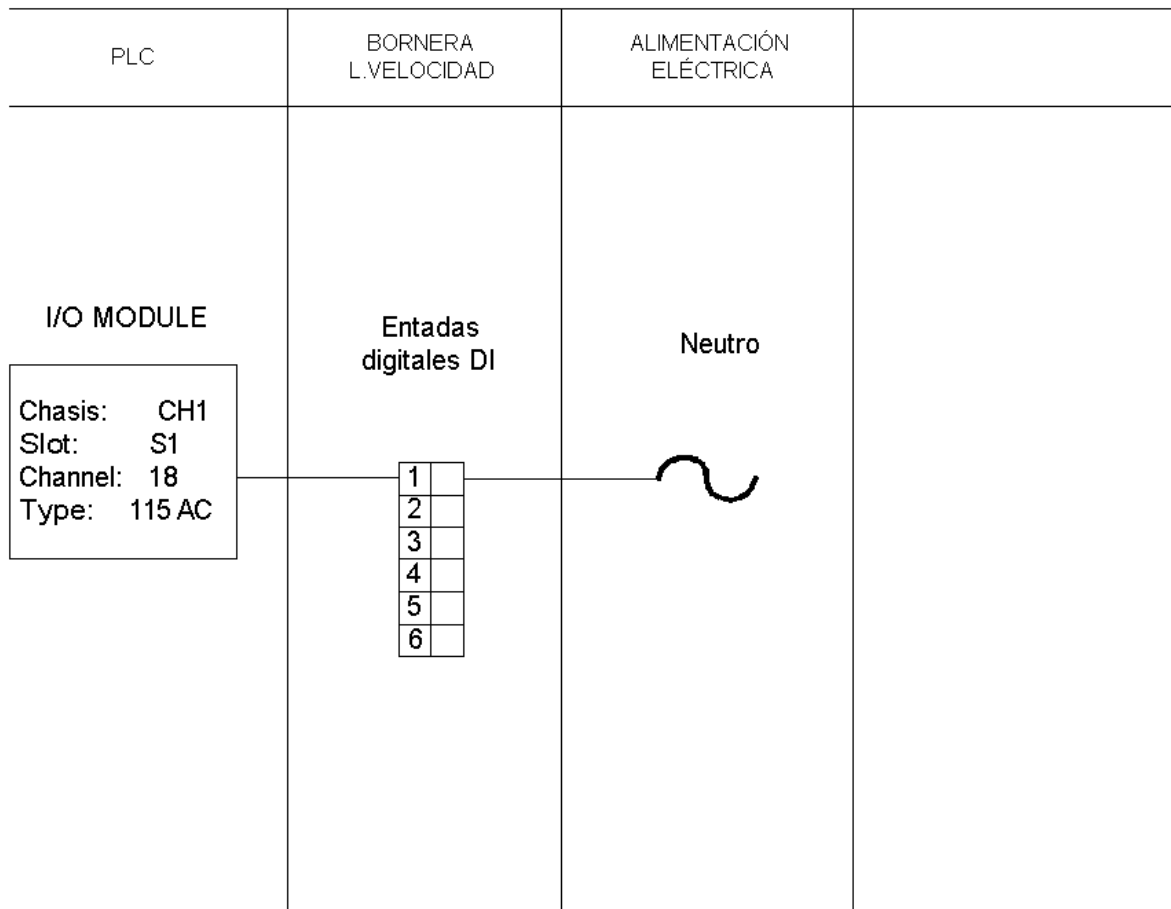




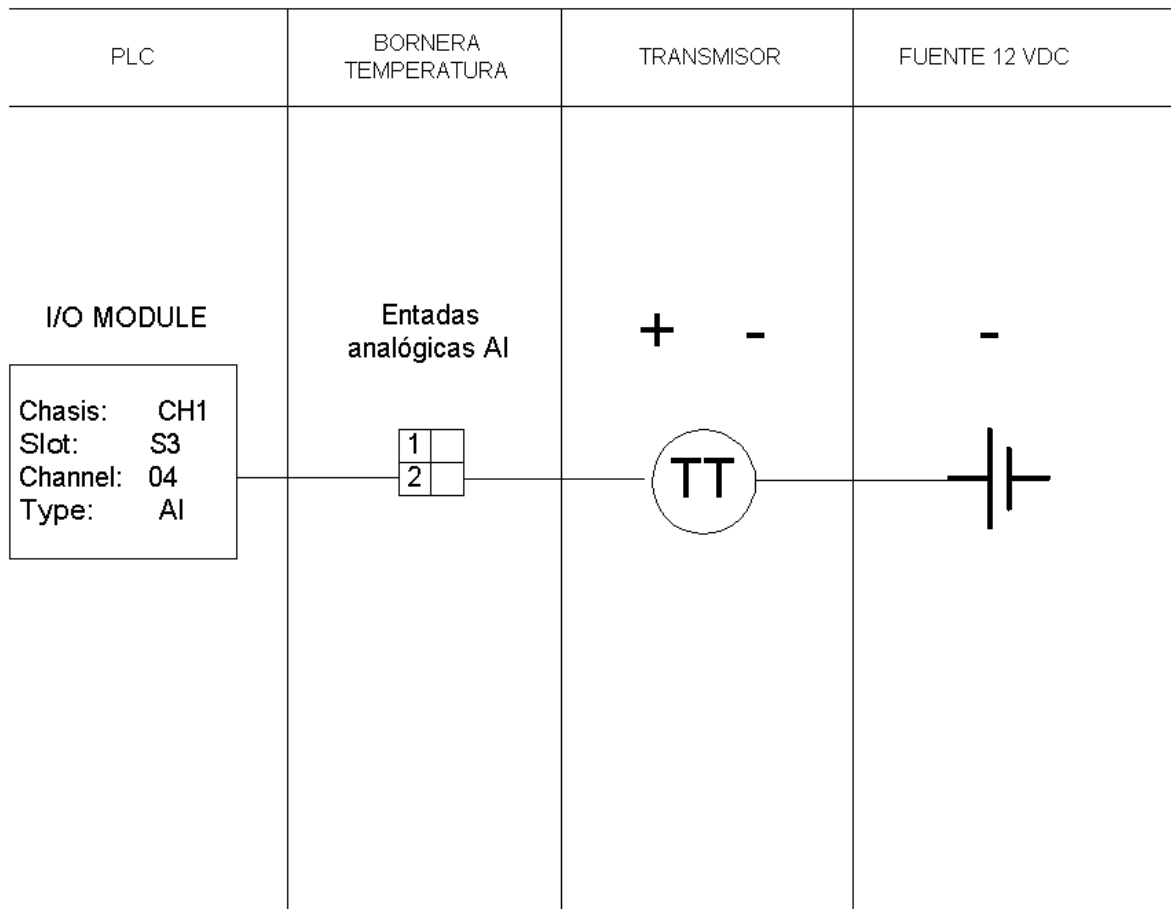
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DI-L.Tempert.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



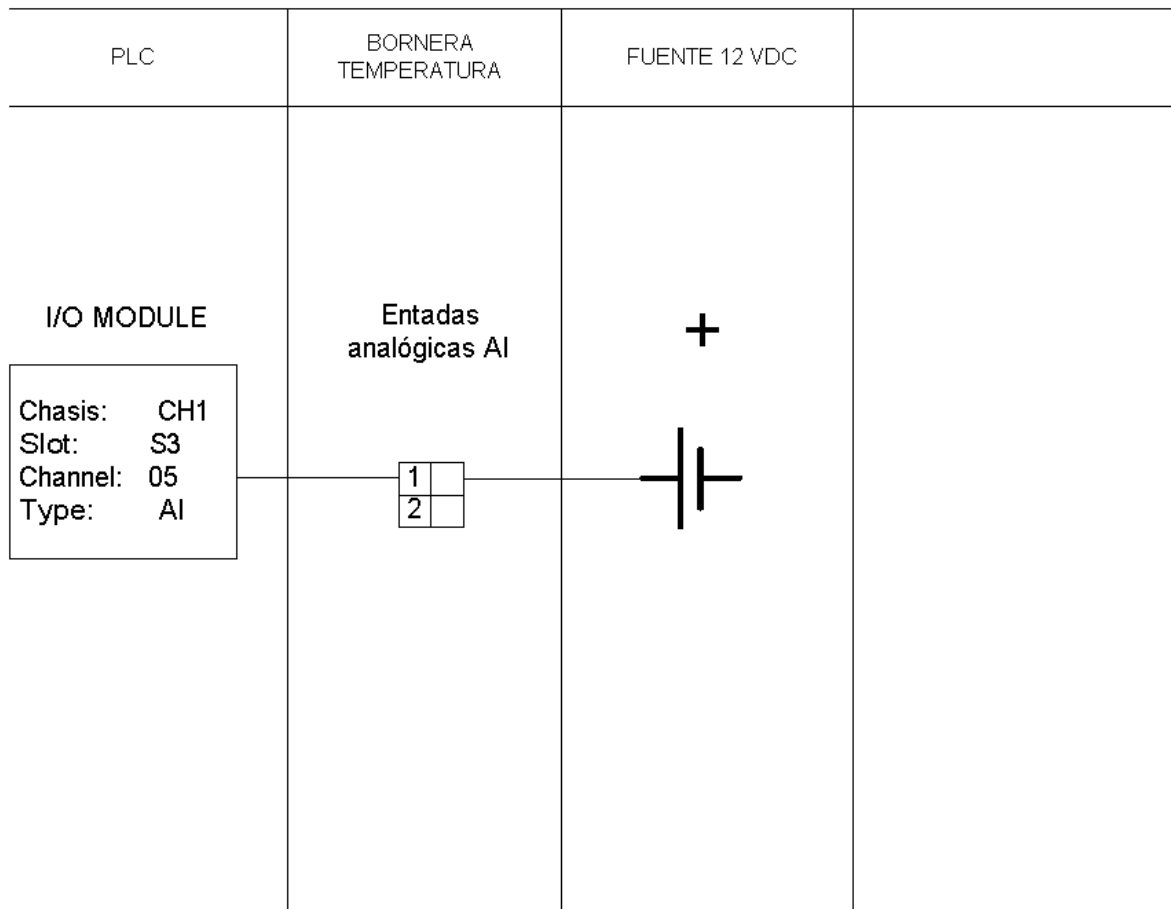
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



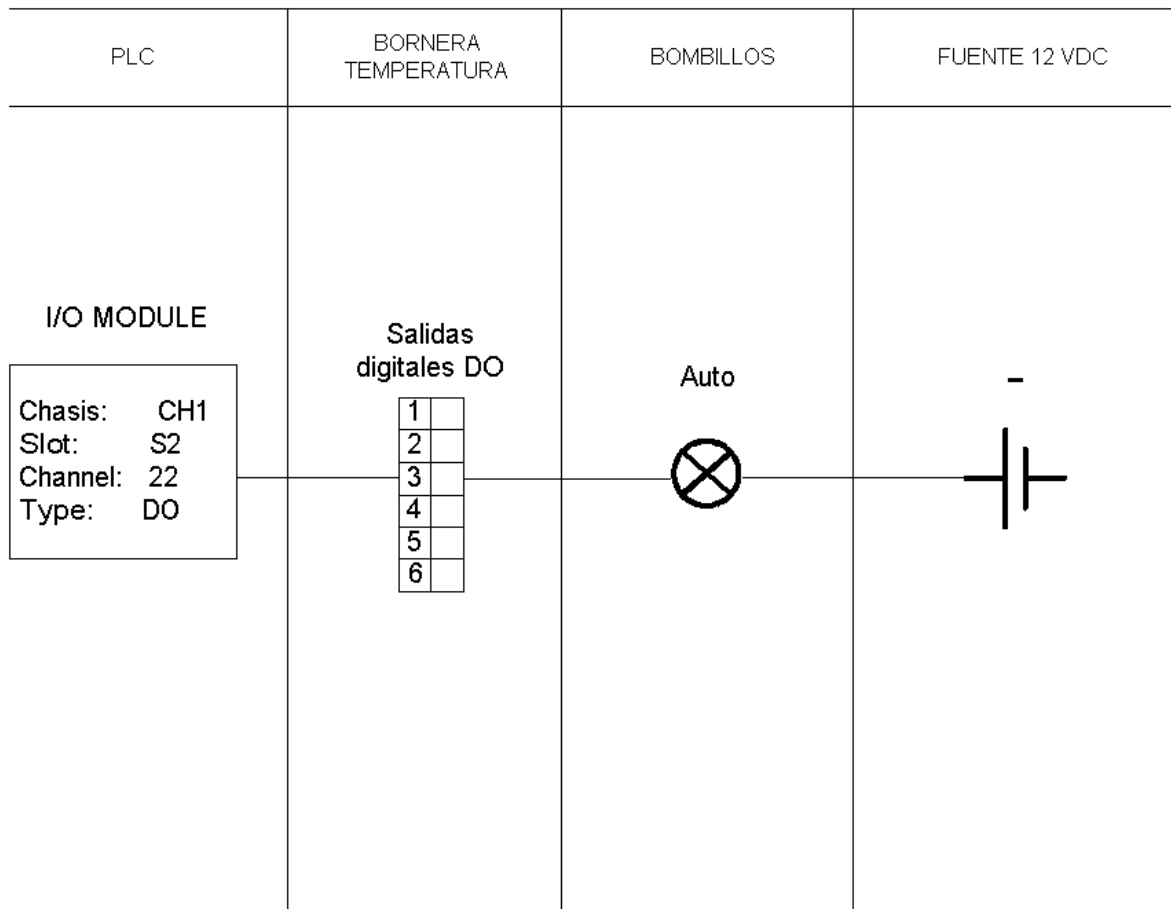
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



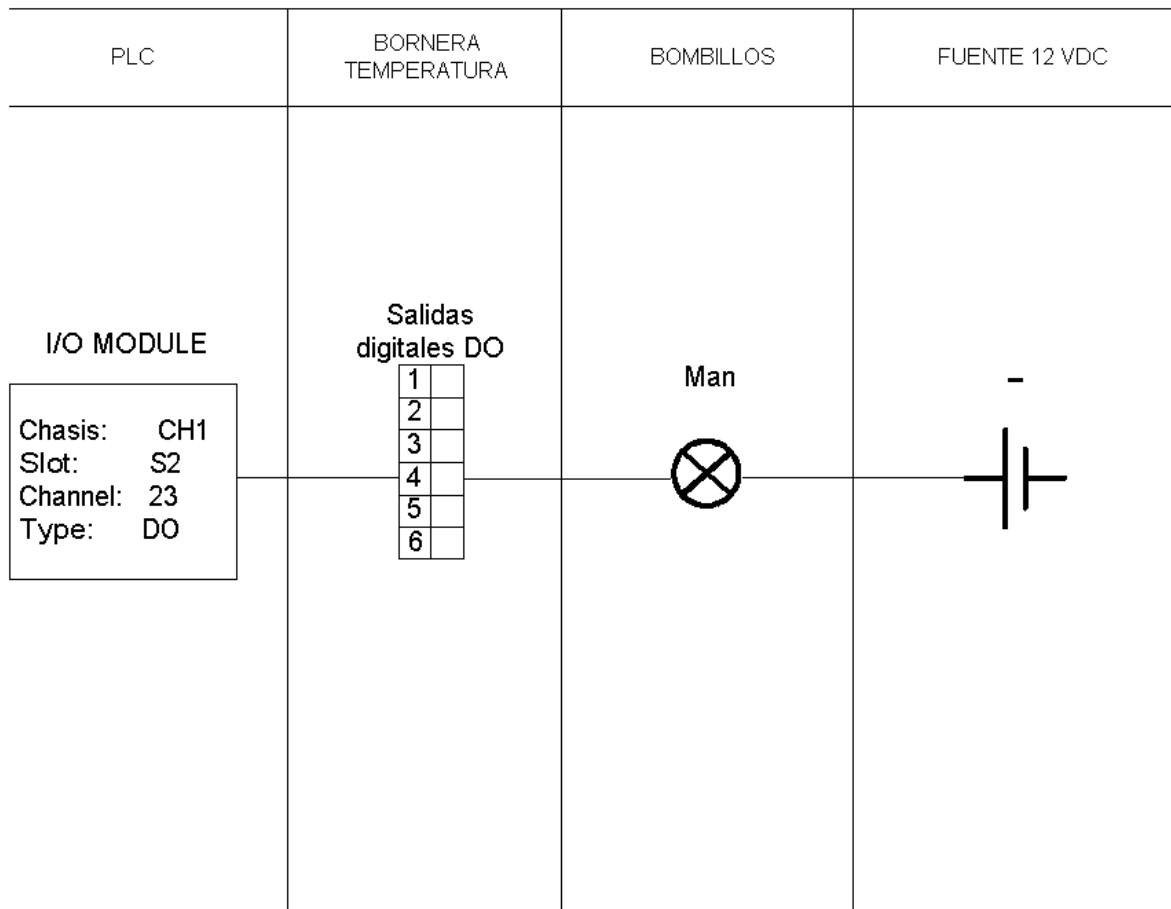
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI-L.Temper.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



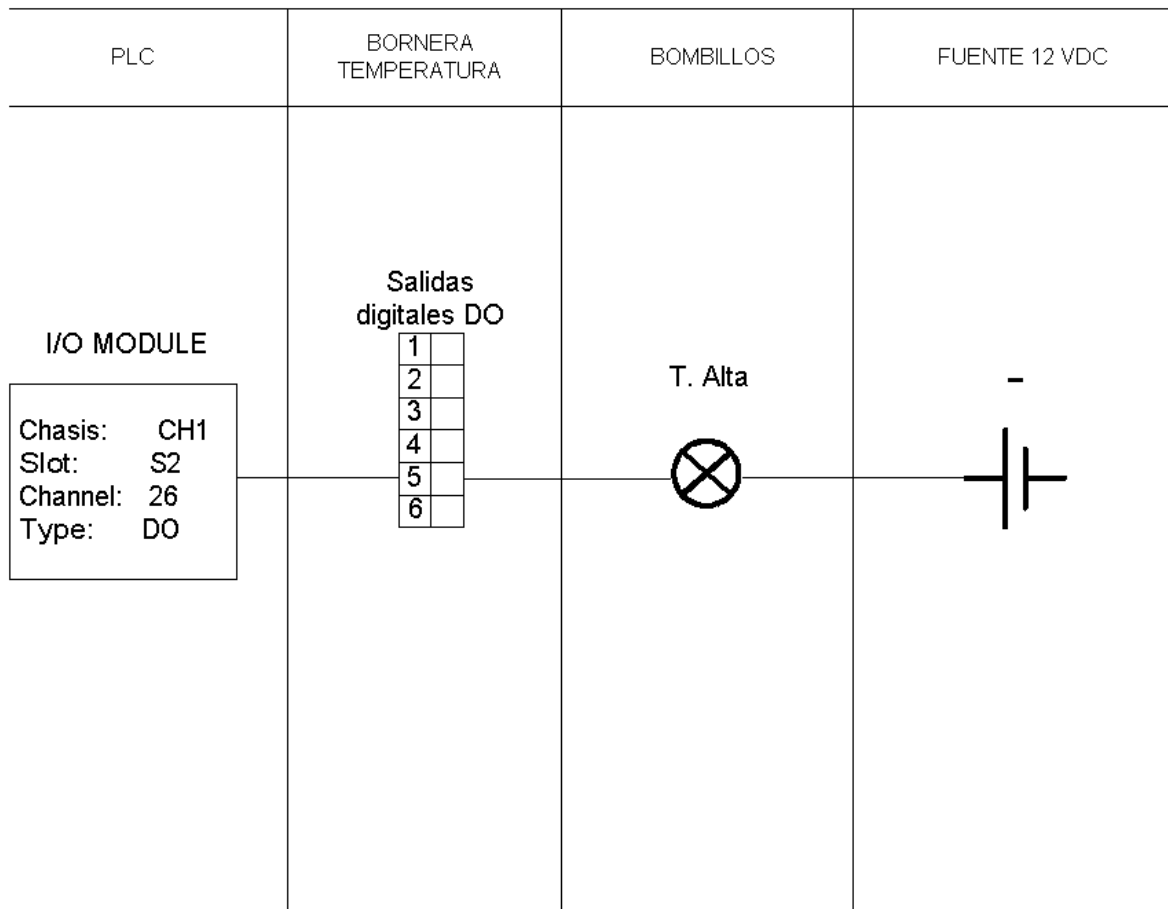
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AI-L.Temper.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



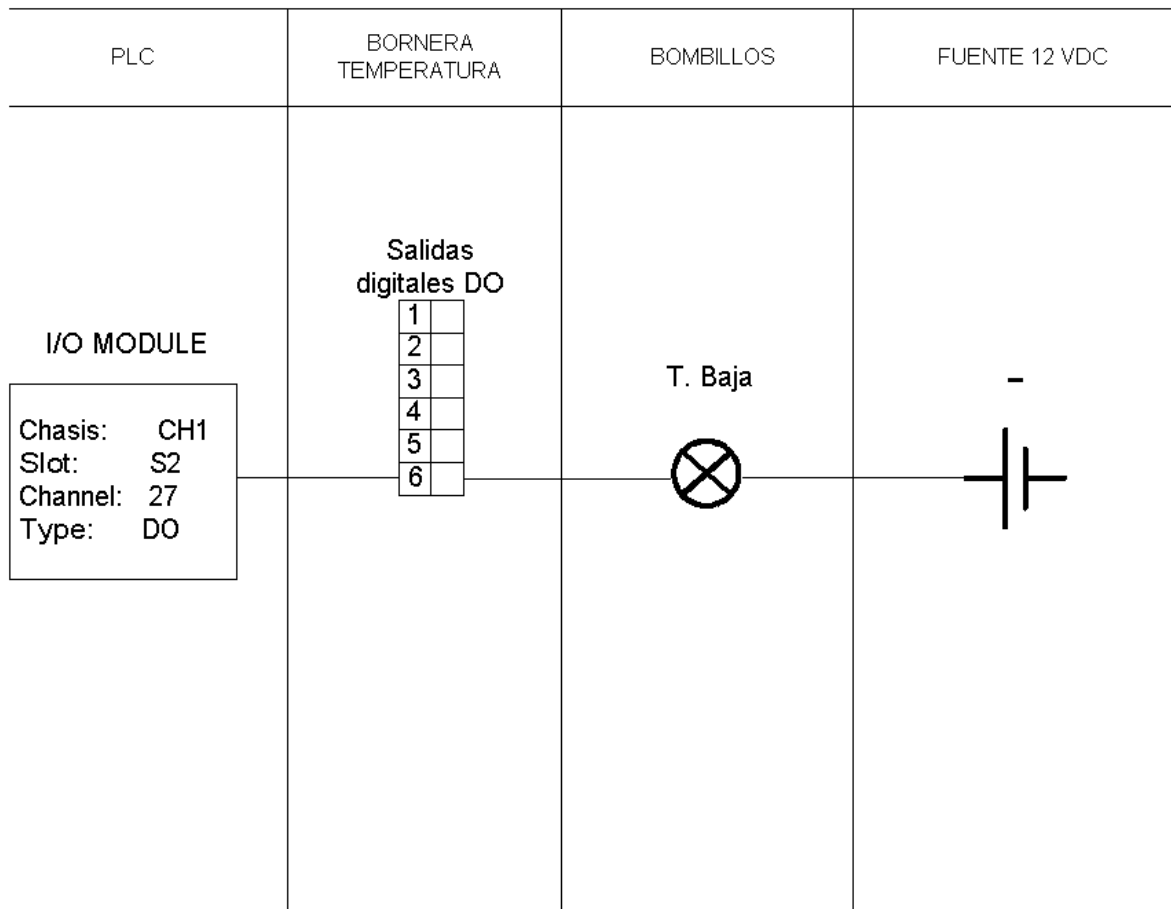
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



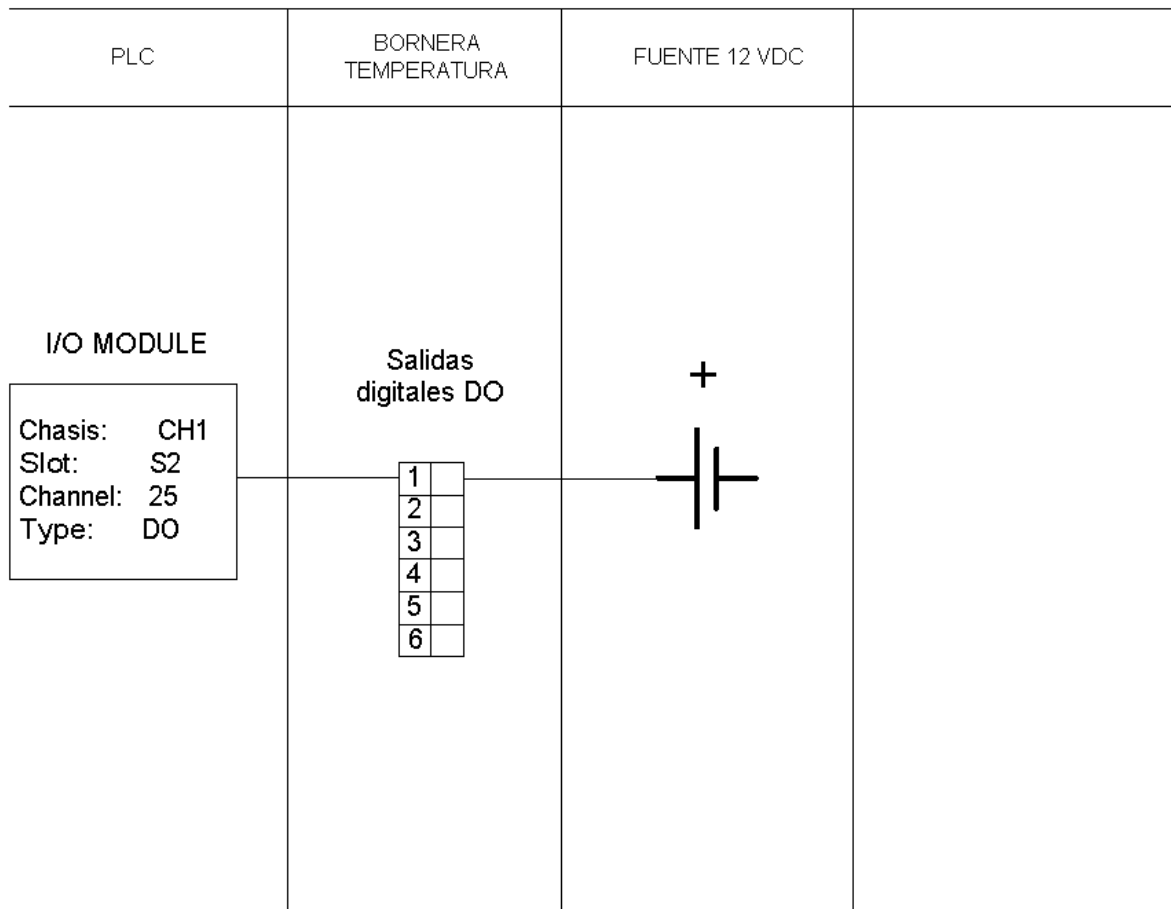
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



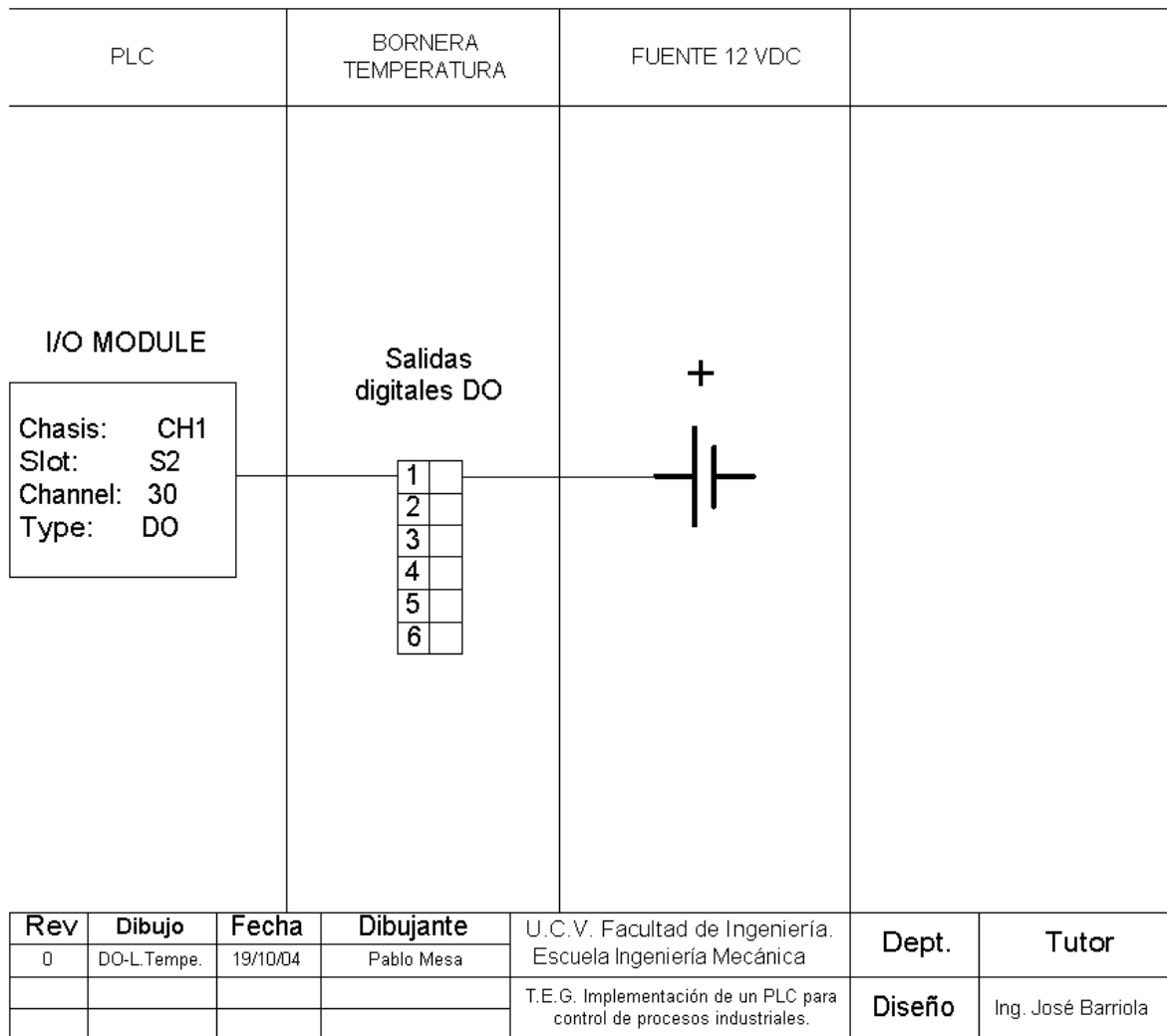
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

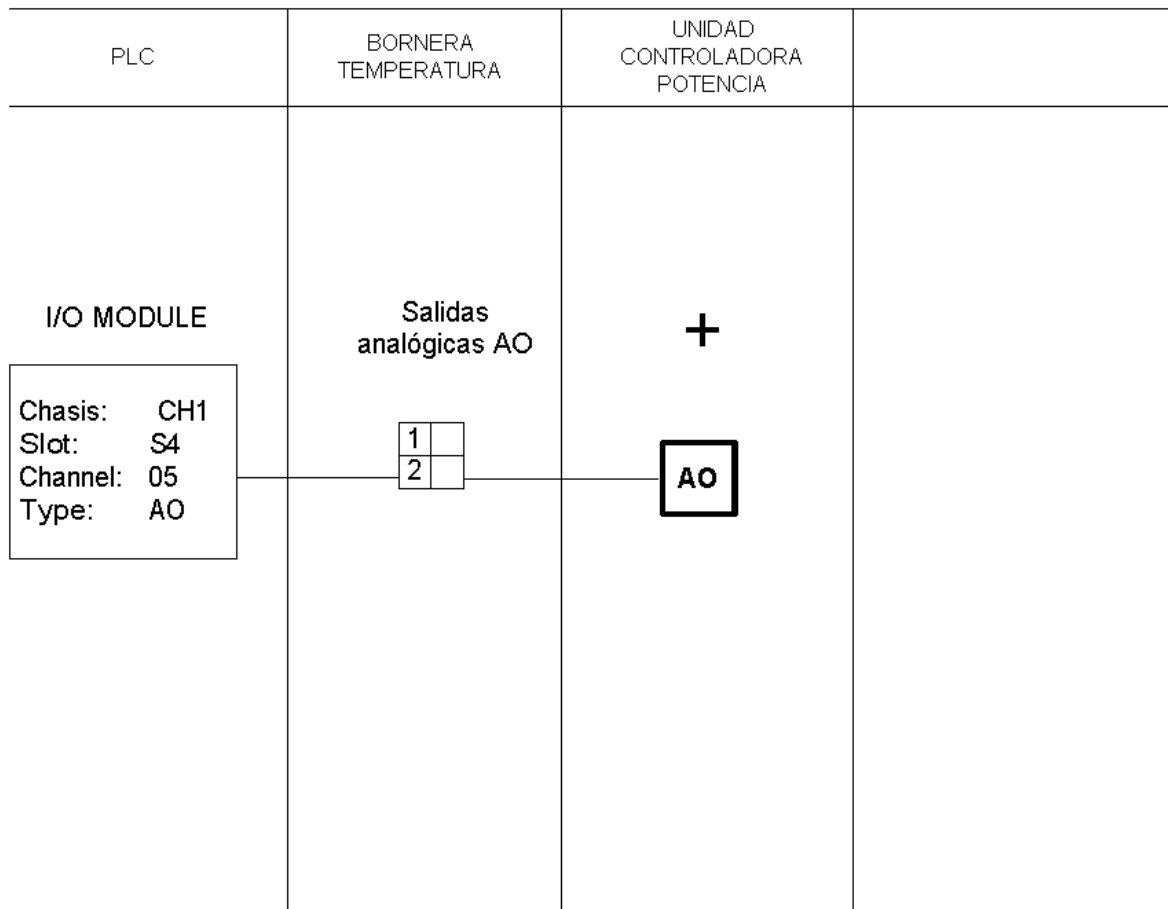


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

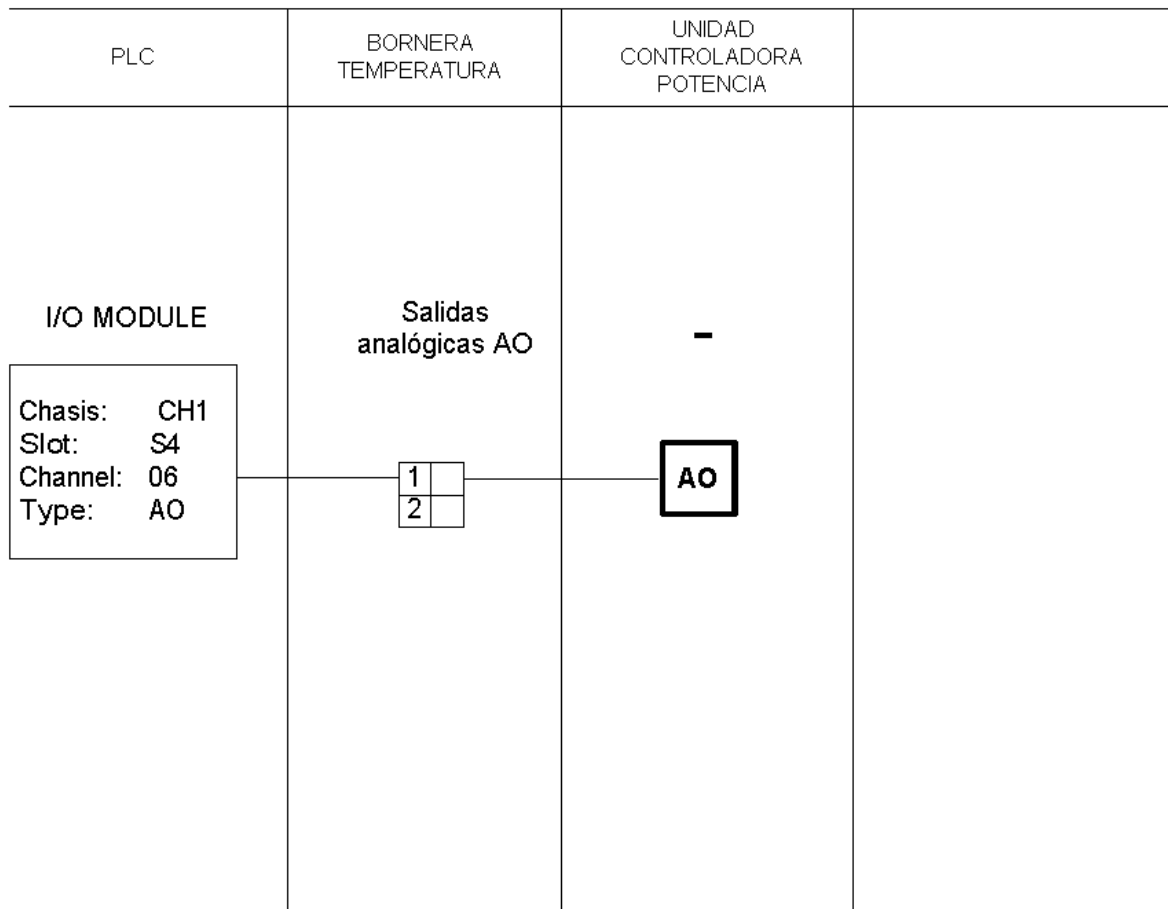


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

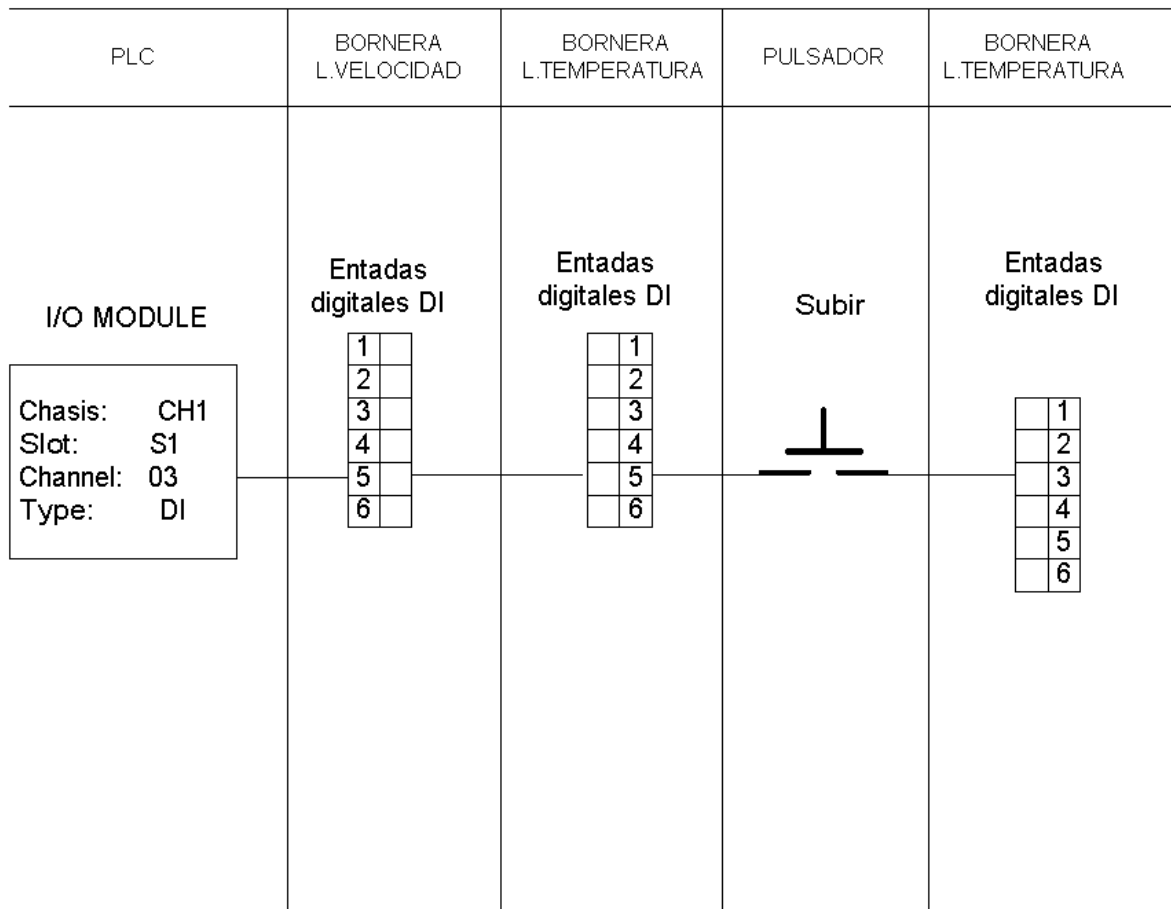




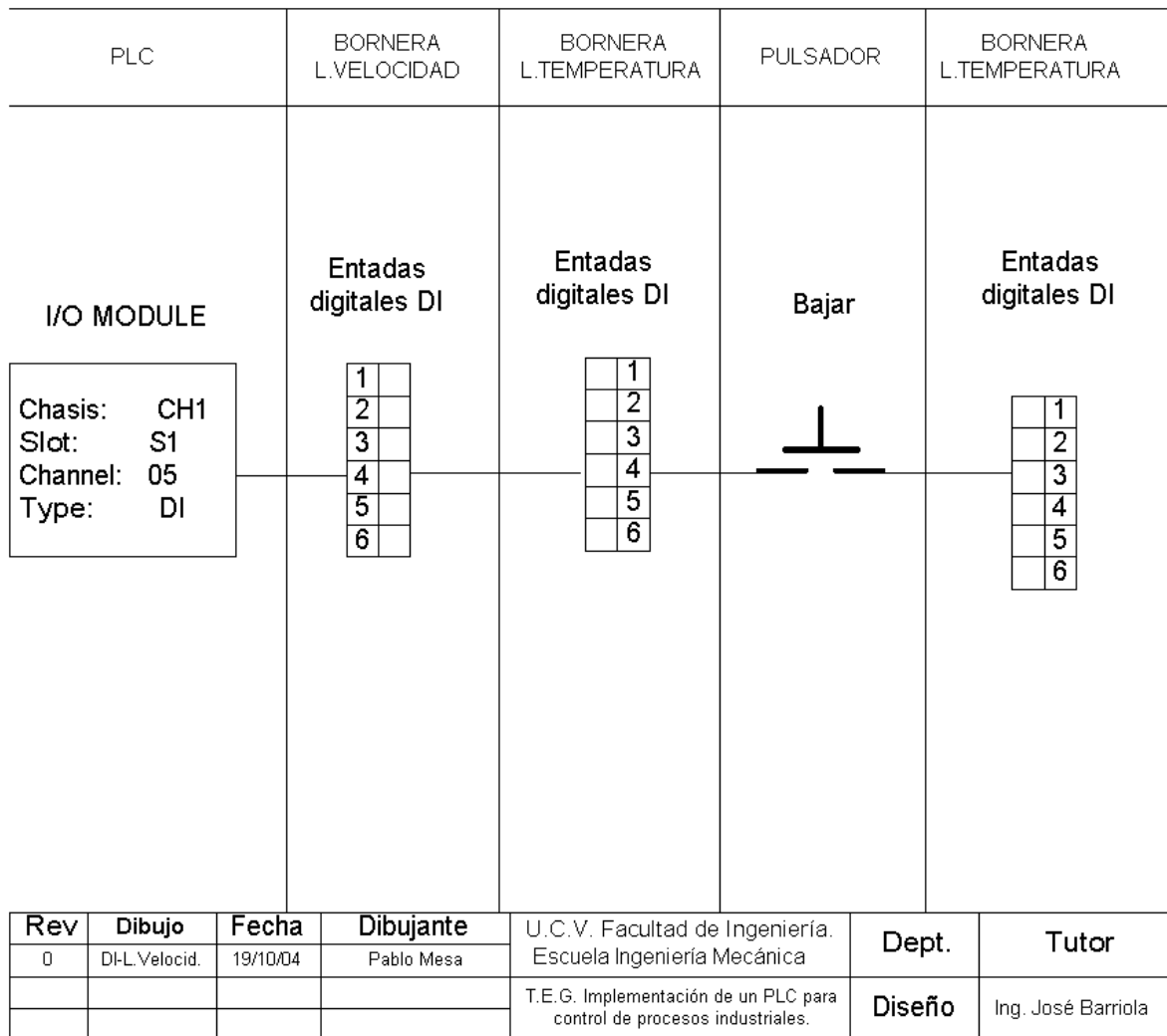
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

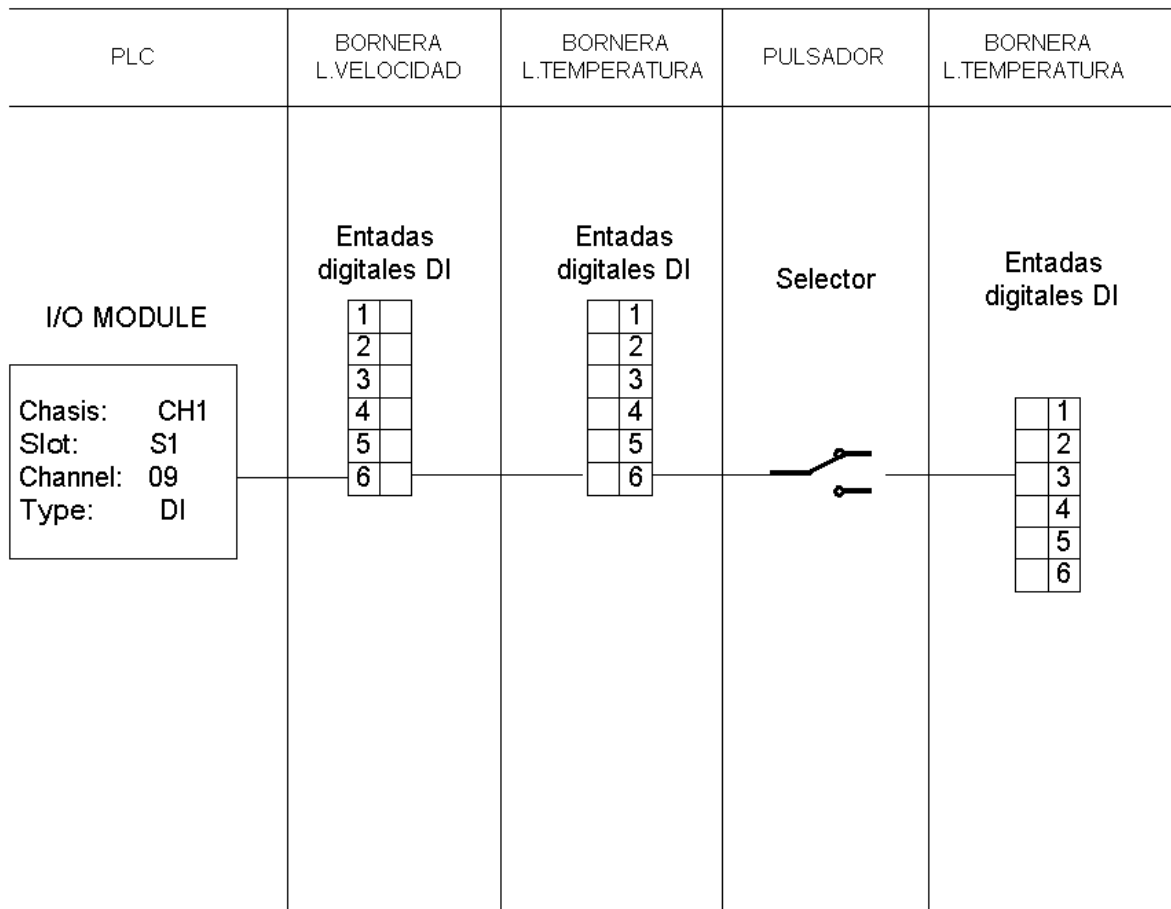


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Tempe.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

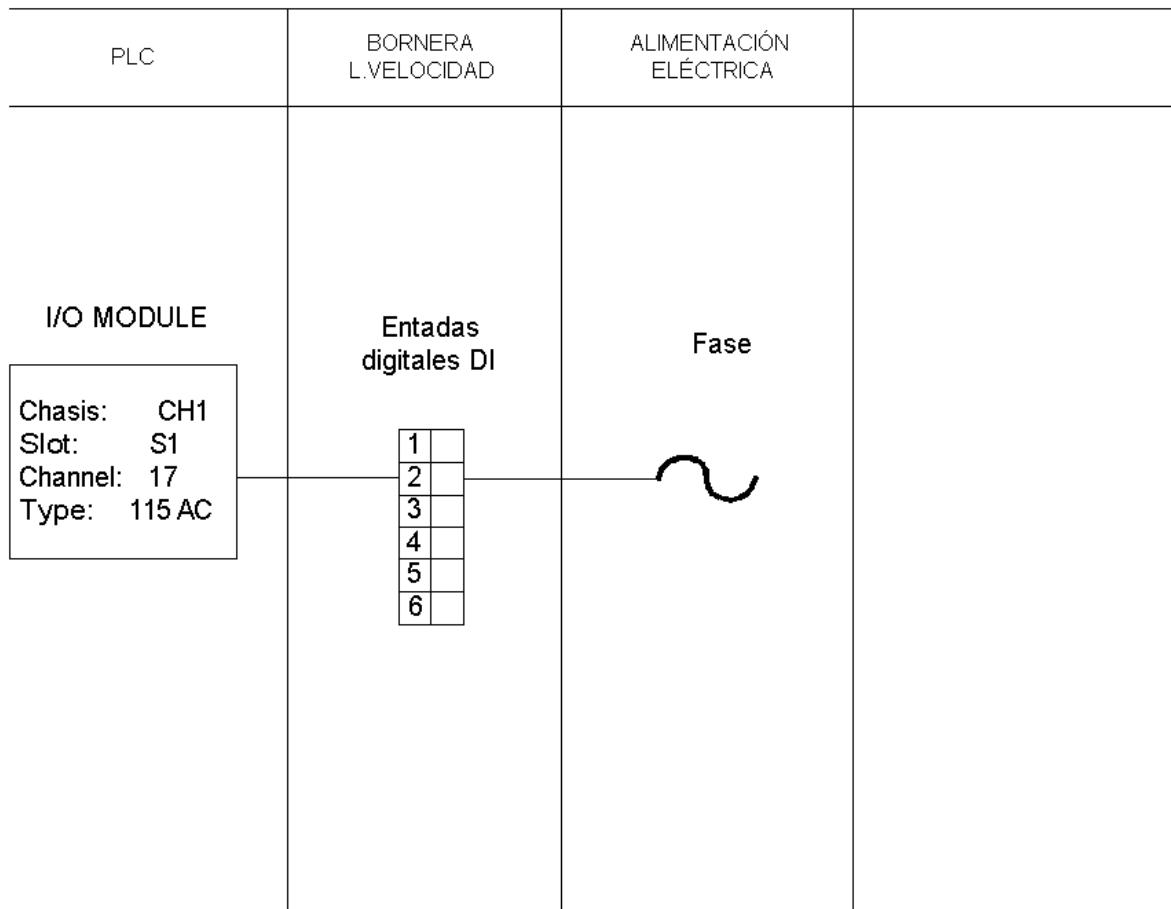


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DI-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

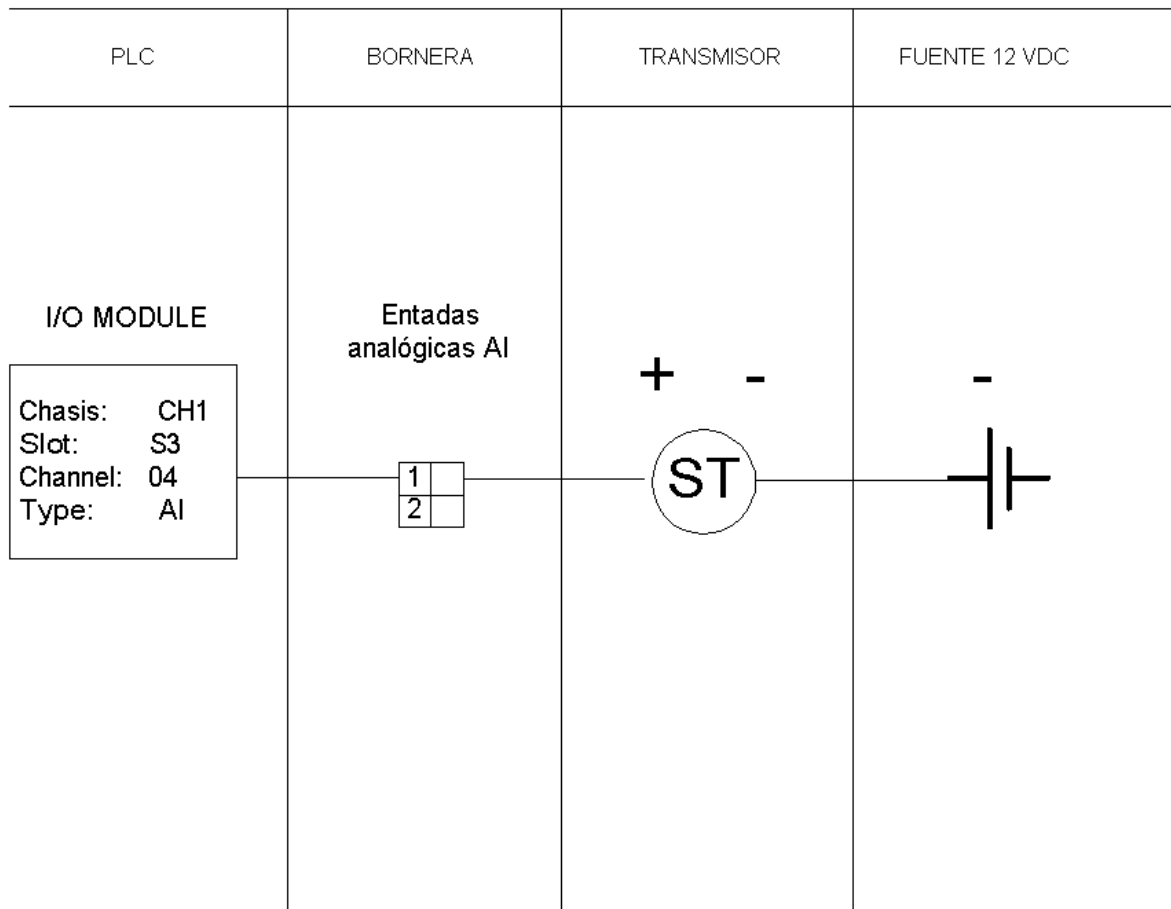




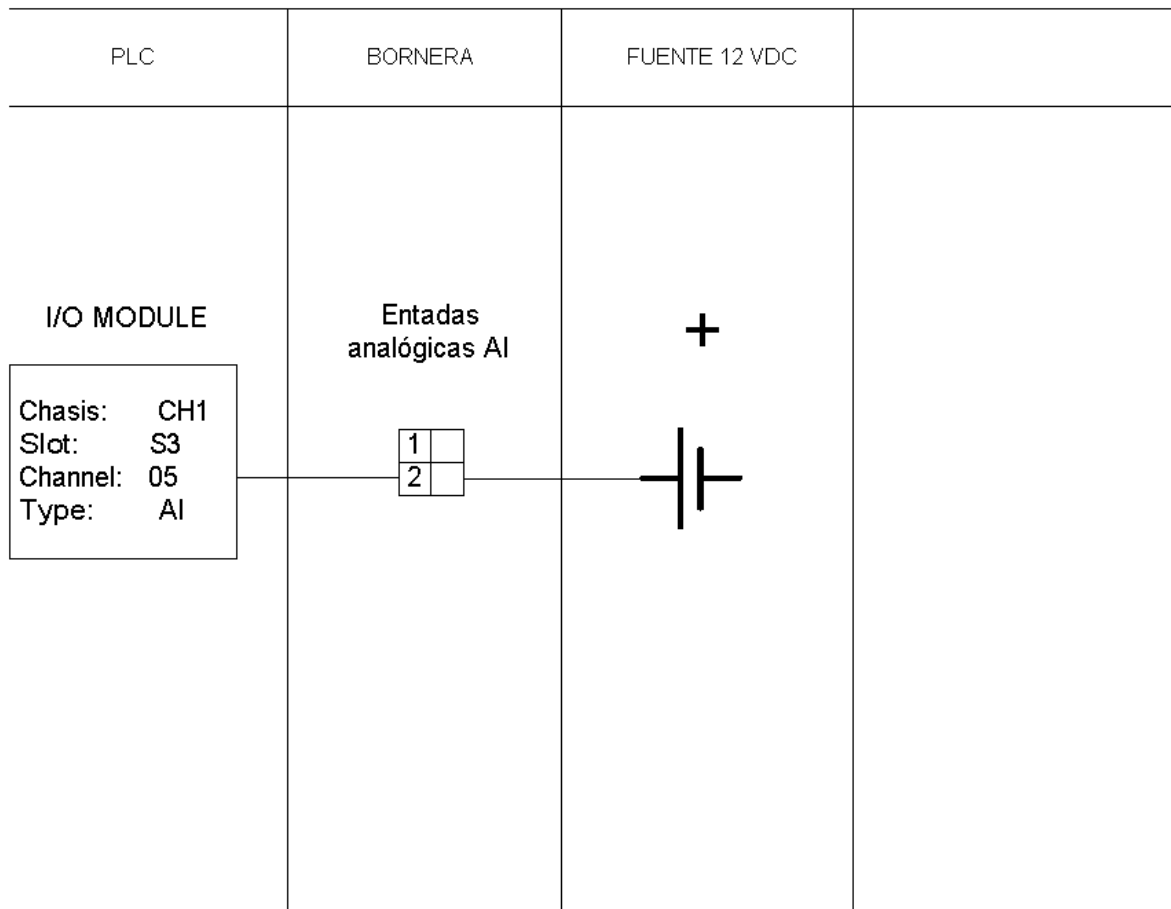
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DI-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



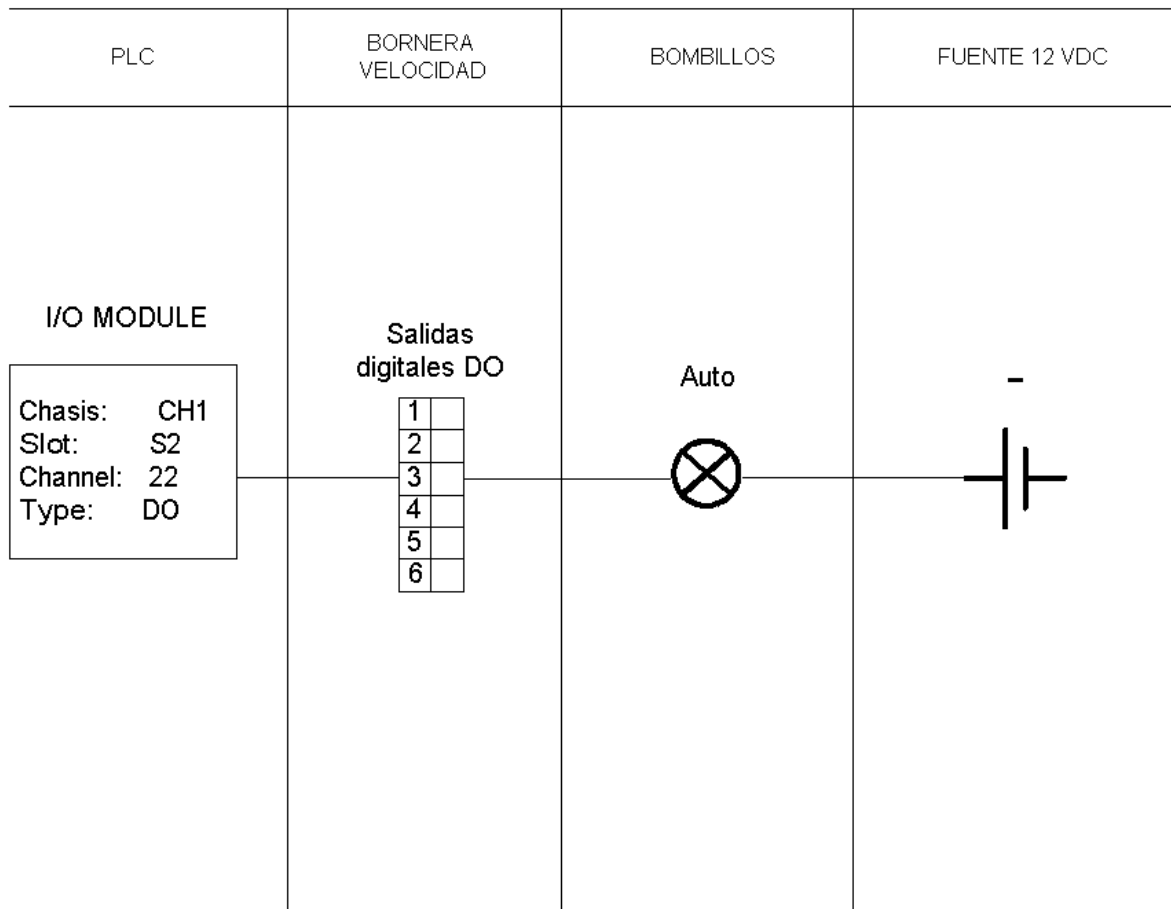
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AC-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola



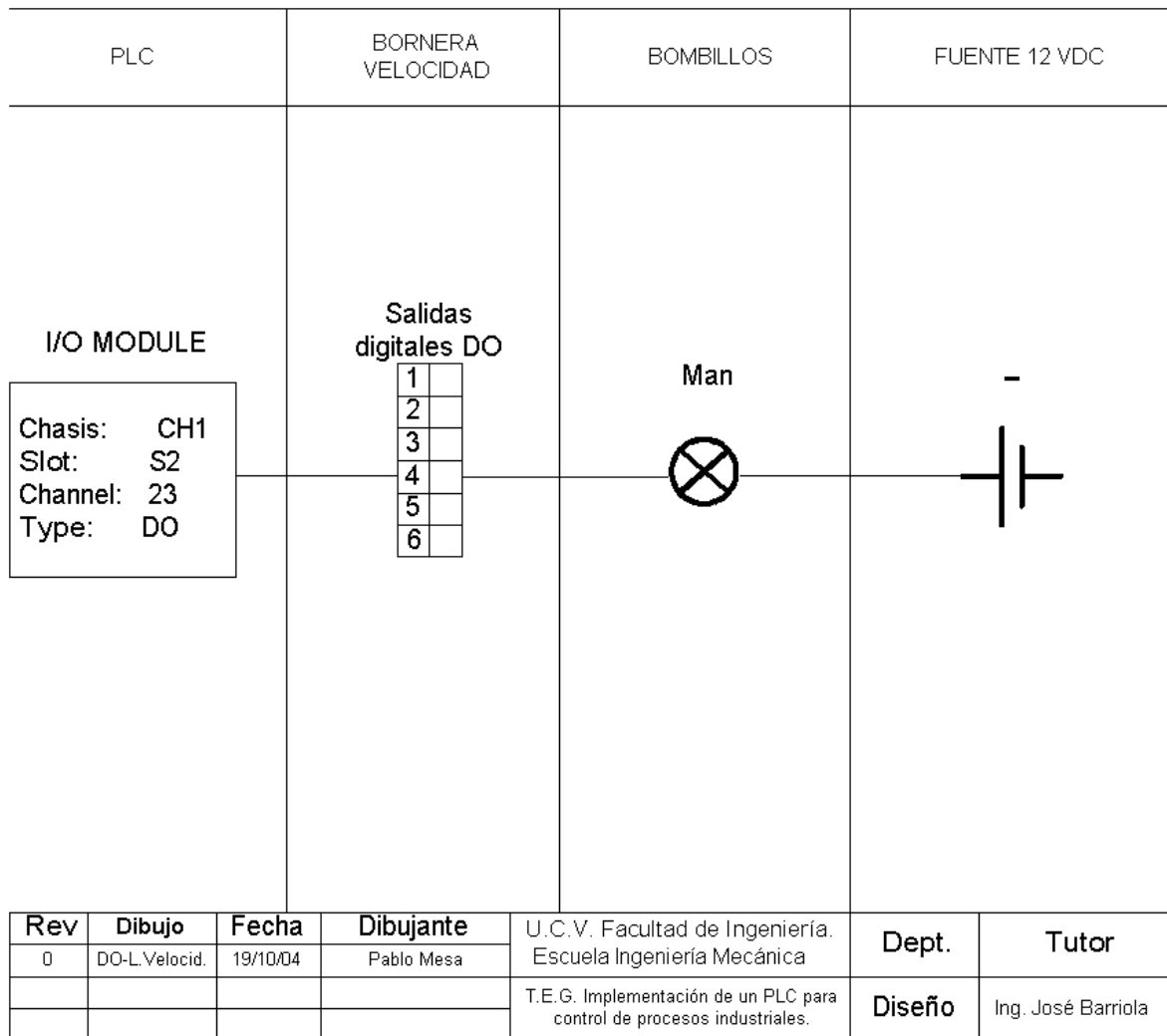
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	Al-L.Velocida.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

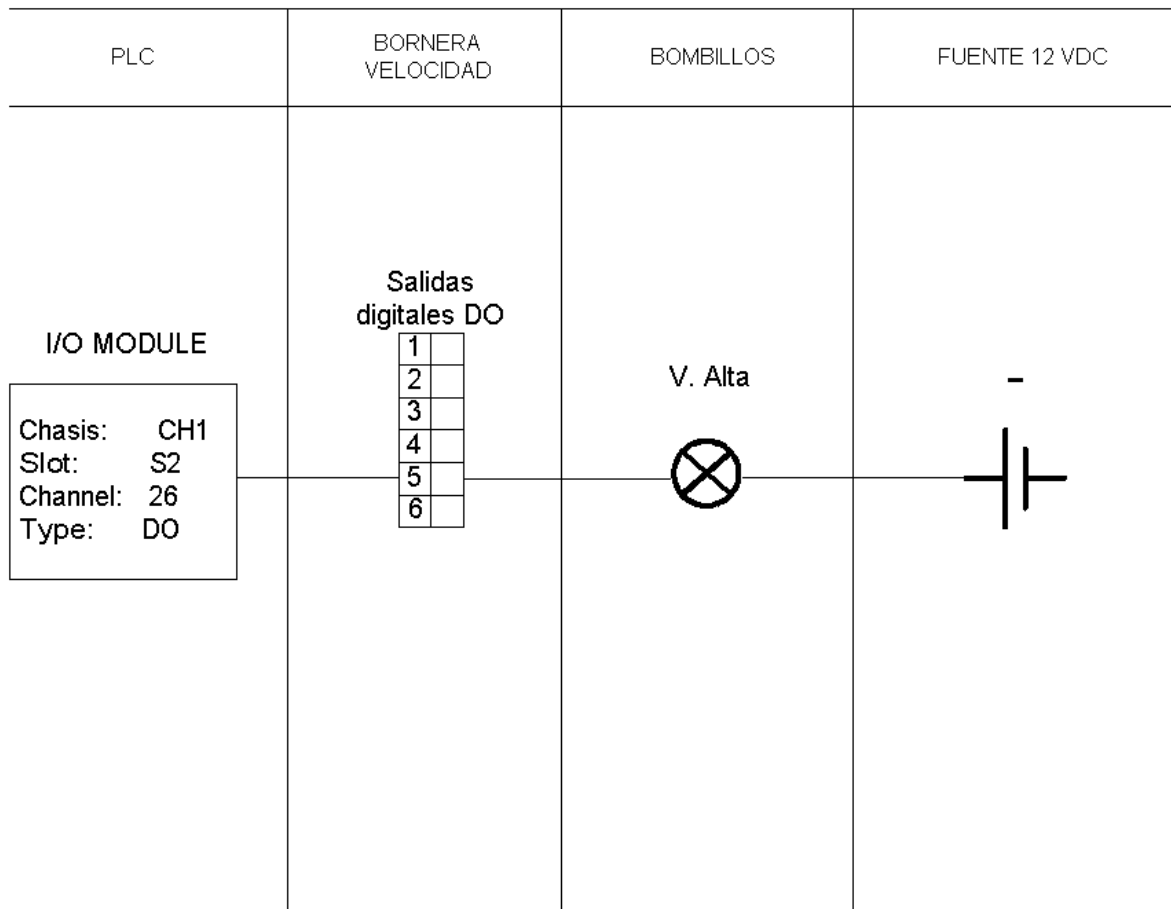


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	Al-L.Velocida.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

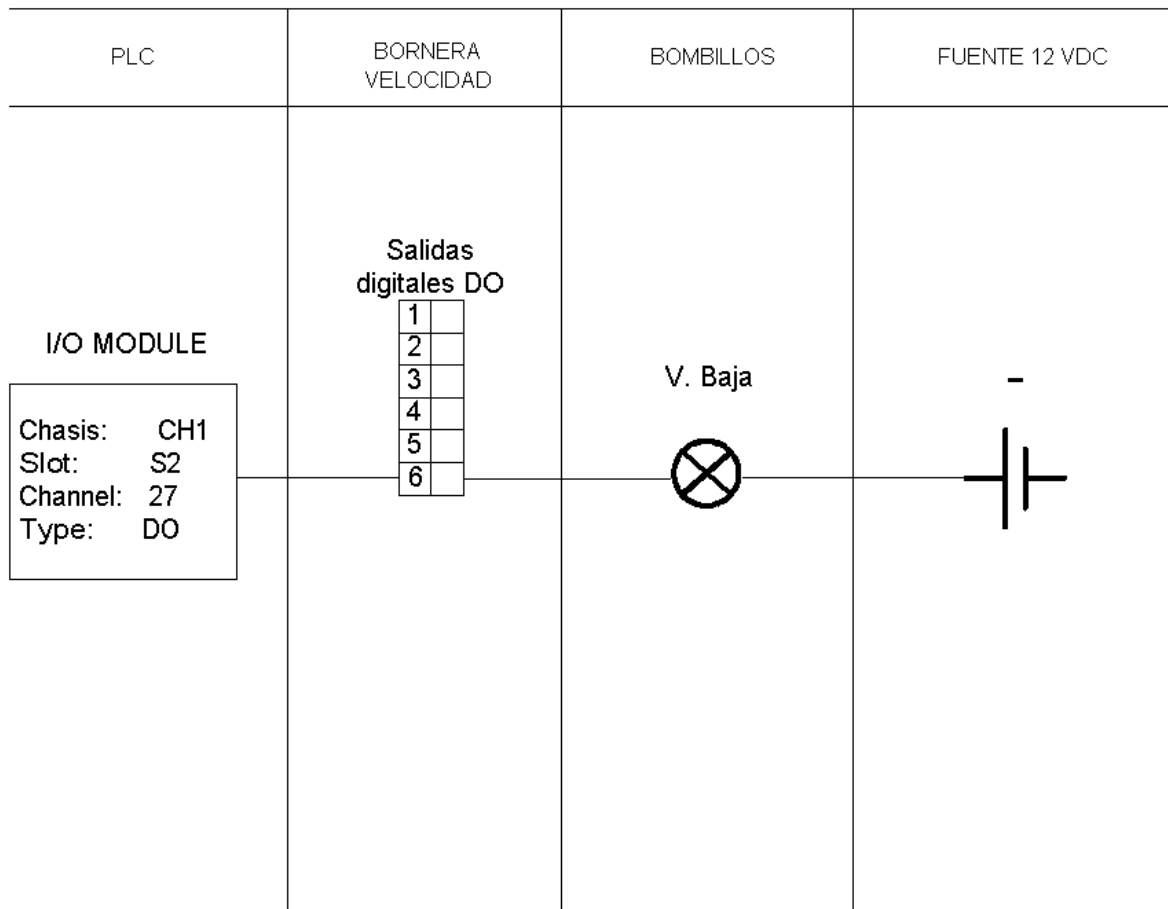


Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

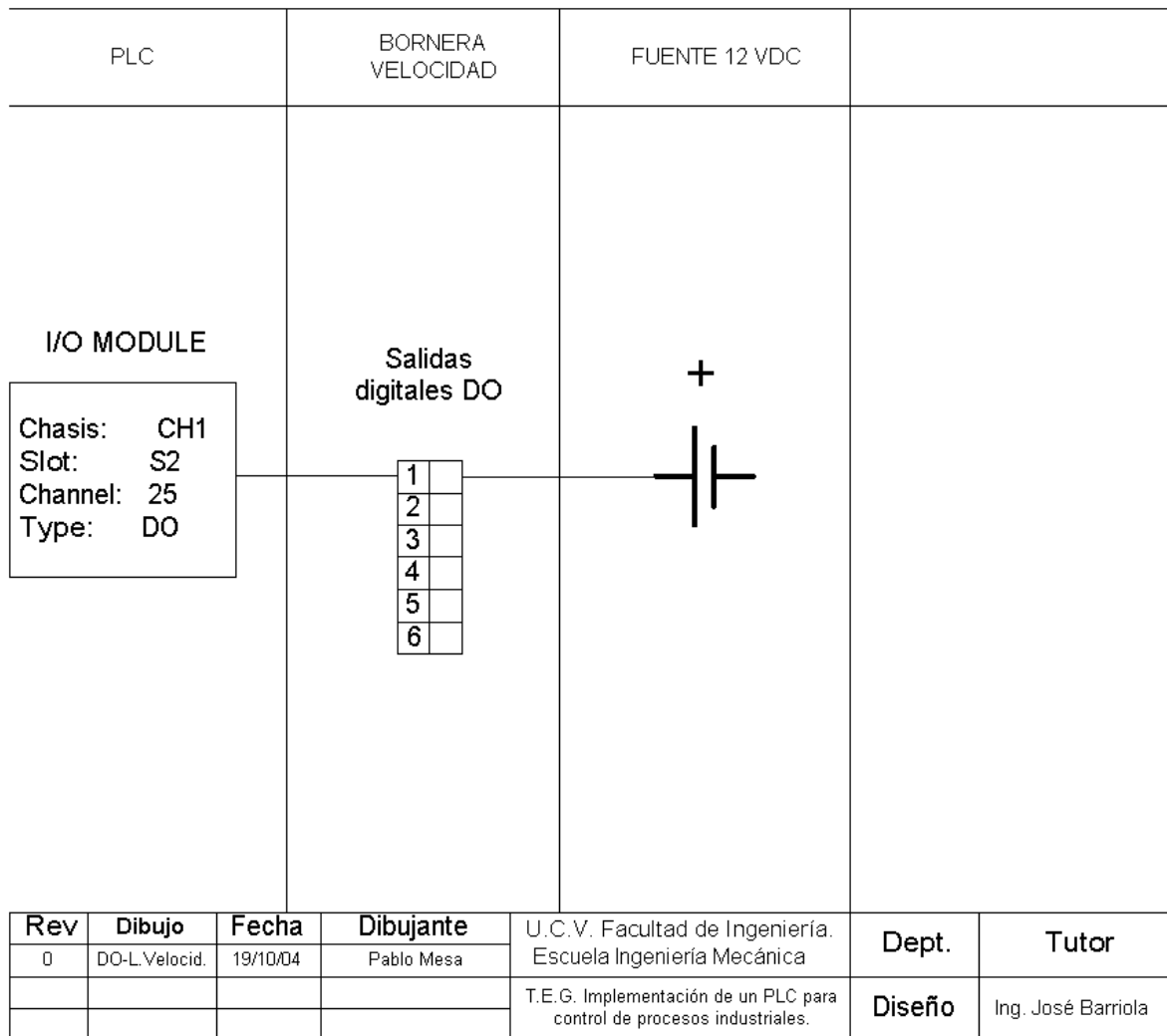


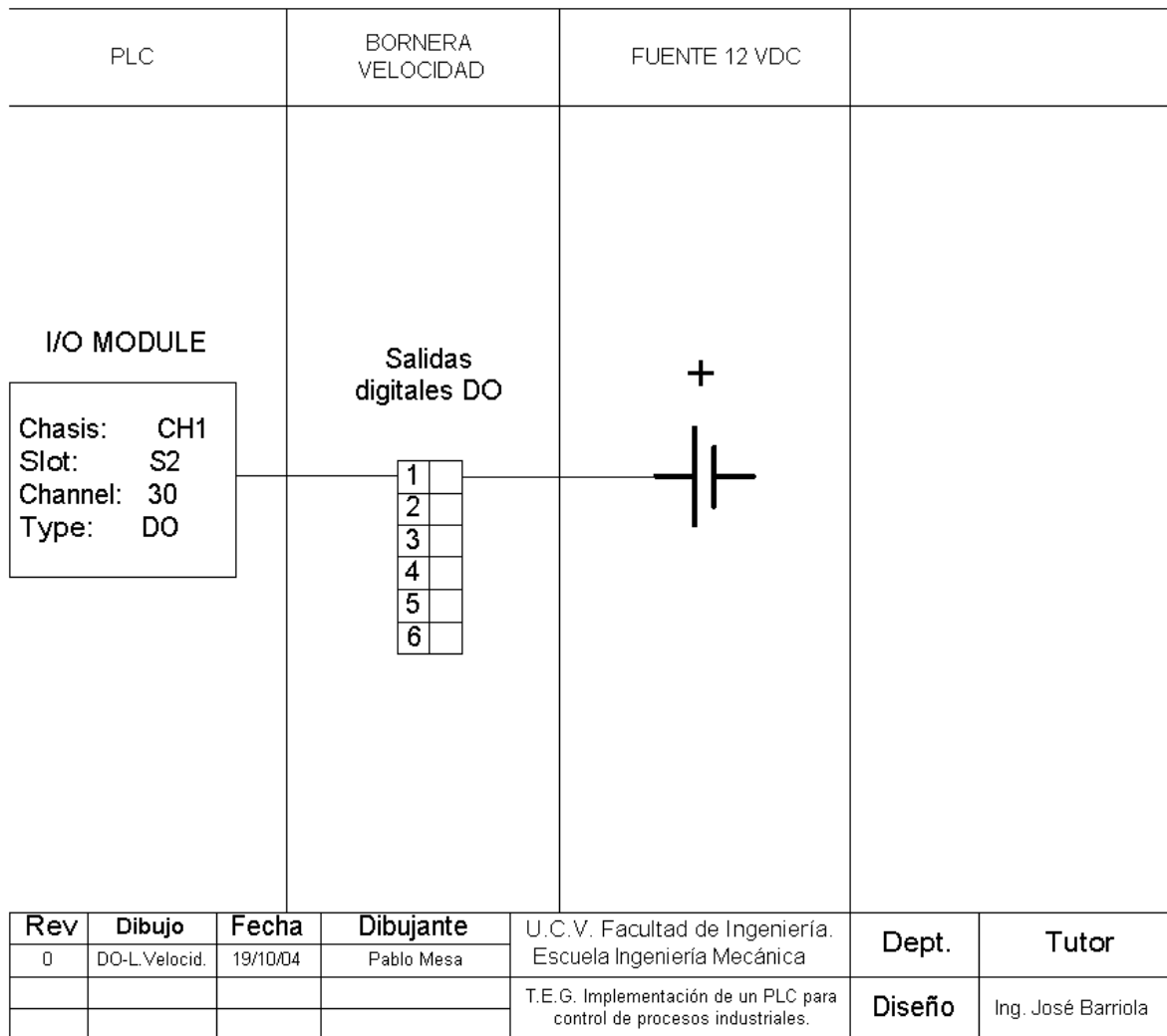


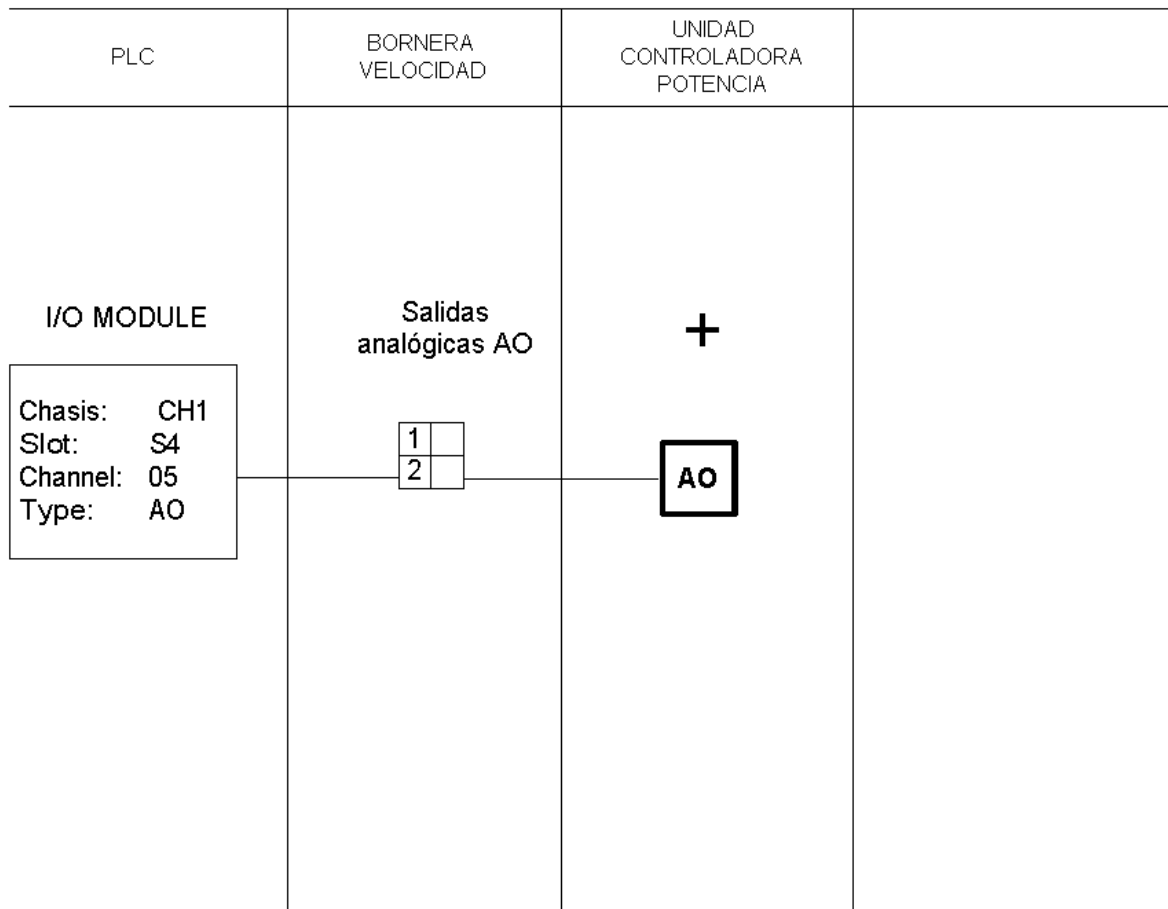
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



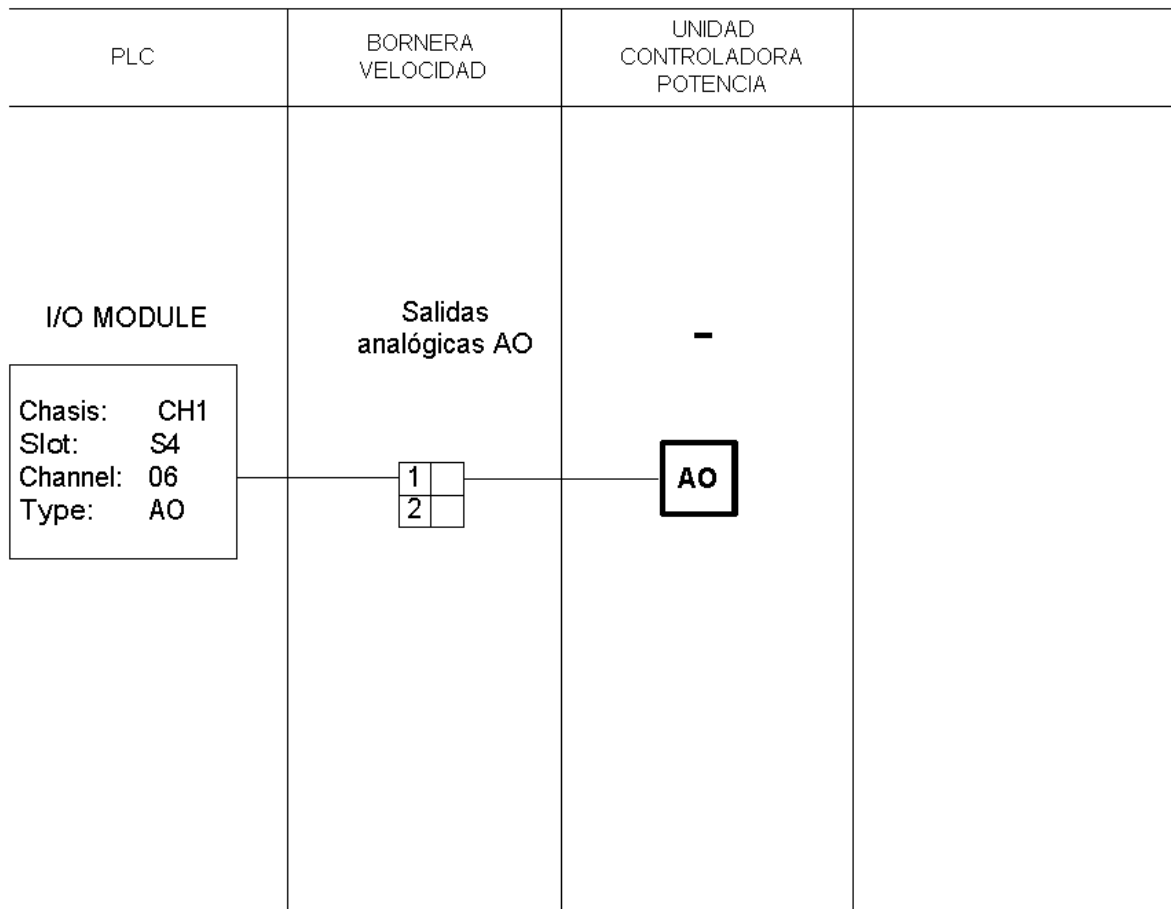
Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	DO-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseno	Ing. José Barriola







Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Disefio	Ing. José Barriola



Rev	Dibujo	Fecha	Dibujante	U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela Ingeniería Mecánica	Dept.	Tutor
0	AO-L.Velocid.	19/10/04	Pablo Mesa	T.E.G. Implementación de un PLC para control de procesos industriales.	Diseño	Ing. José Barriola

ANEXO V

Programación de los procesos de control