

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional San Nicolás

“Actualización del sistema de control de la grúa descargadora
Nº3, del Puerto Ing. Buitrago”

Ingeniería Electrónica
Proyecto Final

Alumno: Robles, Francisco Ivan

Legajo: 7962

Docente Supervisor: Puccini, Carlos

Supervisor de campo: Colella, Rodolfo

Fecha de Presentación: 10/04/15

Índice:

1. Introducción

2. Objetivos

3. Descripción del problema

4. Propuesta de solución

5. Fundamentación teórica

5.1. Teoría de motores de continua

5.1.1. Introducción

5.1.2. Principio de generación

5.1.3. Reacción del inducido

5.1.4. Conmutación

5.1.5. Características del motor de corriente continua.

5.1.6. Modos de operación

5.2. Modos de control

5.2.1. Introducción

5.2.2. Conceptos

5.2.3. Tipos de sistemas de control

5.2.3.1. Sistemas de control en lazo abierto

5.2.3.2. Sistemas de control en lazo cerrado

5.2.3.2.1. Control de dos posiciones (ON-OFF)

5.2.3.2.2. Controlador de acción Proporcional (P)

5.2.3.2.3. Controlador de acción Integral (I)

5.2.3.2.4. Controlador de acción proporcional e integral (PI)

5.2.3.2.5. Controlador de acción proporcional y derivativa (PD)

5.2.3.2.6. Controlador de acción PID

5.3. Teoría de control de motores de continua (drivers)

5.3.1. Introducción

5.3.2. Principio general

5.3.2.1. Introducción

5.3.2.2. La regulación

5.3.2.3. Inversión del sentido de giro y frenado por recuperación

5.3.3. Principales funciones de los drivers

5.3.4. Principio básico de funcionamiento de los drives de continua.

5.3.5. Estructura de los drives

5.3.5.1. El módulo de control

5.3.5.2. El módulo de potencia

5.3.6. Modos de funcionamiento posibles

5.3.6.1. Funcionamiento llamado a “par constante”

5.3.6.2. Funcionamiento llamado a “potencia constante”

5.4. Teoría de controladores lógicos programables (PLC)

5.4.1. Introducción

5.4.2. Clasificación de PLC

- 5.4.2.1. PLC tipo Nano
- 5.4.2.2. PLC tipo Compactos
- 5.4.2.3. PLC tipo Modular
- 5.4.2.4. Funciones especiales
- 5.4.3. Bloques necesarios para el funcionamiento del PLC
 - 5.4.3.1. CPU
 - 5.4.3.2. Fuente de alimentación
 - 5.4.3.3. Bloque de entradas
 - 5.4.3.4. Bloque de salidas
 - 5.4.3.5. Módulos de E/S analógicos
 - 5.4.3.6. Módulos Inteligentes
- 5.4.4. Densidad de Modulo
- 5.4.5. Consola de programación
- 5.4.6. Arquitectura interna del PLC
 - 5.4.6.1. Conexión mediante buses
 - 5.4.6.2. Lenguajes de programación
 - 5.4.6.3. Protocolos de comunicaciones industriales
 - 5.4.6.8.1. Introducción
 - 5.4.6.8.2. FOUNDATION FIELDBUS
 - 5.4.6.8.3. MODBUS
 - 5.4.6.8.4. Esquema de la red de control “Genius”
 - 5.4.6.8.5. ETHERNET
 - 5.4.6.8.6. Fibra óptica
 - 5.4.6.8.6.1. Introducción
 - 5.4.6.8.6.2. Fibra multimodo
 - 5.4.6.8.6.3. Fibra monomodo
 - 5.4.6.8.7. Resumen de redes Industriales
- 5.5. Teoría de pantallas táctiles
 - 5.5.1. Introducción
 - 5.5.2. Clasificación
 - 5.5.2.1. Pantallas táctiles con sistemas de ondas acústicas superficiales.
 - 5.5.2.2. Pantallas táctiles capacitivas.

6. Desarrollo de solución

- 6.1. Introducción
- 6.2. Descripción de la estructura de la grúa
- 6.3. Descripción del equipamiento eléctrico de la grúa
 - 6.3.1. Equipos sobre el Carro
 - 6.3.2. Equipos en la traslación
 - 6.3.3. Equipos en el brazo móvil
 - 6.3.4. Equipos en la cabina del operador
 - 6.3.5. Equipos en la Sala Eléctrica N°1
 - 6.3.6. Equipos de la sala N°2
- 6.4. Esquema de alimentación de potencia y control de la grúa
- 6.5. Esquema de alimentación de control

- 6.6. Unifilar de la red de control
 - 6.6.1. Configuración de los drops remotos IO
- 6.7. Esquema de la red de Fibra óptica
 - 6.7.1. Configuración
 - 6.7.2. Unifilar de red de fibra
- 6.8. Data Panel
 - 6.8.1. Introducción
 - 6.8.2. Descripción de las pantallas
 - 6.8.3. Configuración de la comunicación con la red Genius
- 6.9. Estructura del programa del PLC
 - 6.9.1. Introducción
 - 6.9.2. Conjunto de instrucciones de la Series 90-30/20/Micro
 - 6.9.2.1. Contactos, Bobinas y Enlaces
 - 6.9.2.2. Temporizadores y contadores
 - 6.9.2.3. Matemáticas
 - 6.9.2.4. Conversión de datos a otros tipos
 - 6.9.2.5. Comparación de dos números
 - 6.9.2.6. Manipulación de cadenas de Bit
 - 6.9.2.7. Movimiento de datos
 - 6.9.2.8. Movimiento y búsqueda de matriz.
 - 6.9.3. Estructura del PLC LM90-30
 - 6.9.4. Seteo de los módulos de control de la red Genius
 - 6.9.5. Descripción de los bloques funcionales
- 6.10. Esquema conexasión de los drives
 - 6.10.1. Introducción
 - 6.10.2. Descripción de las tarjetas
 - 6.10.3. Esquema de funcionamiento de los drives DC2000
 - 6.10.4. Programación de los drives
 - 6.10.4.1. Introducción
 - 6.10.4.2. Buscador
 - 6.10.4.3. Modificaciones del programa
 - 6.10.4.4. Trend Recorder

7. Implementación practica de la solución

- 7.1. Descripción
- 7.2. Drives TMDC
 - 7.2.1. Introducción
 - 7.2.2. Programación del drive TMDC
 - 7.2.3. Verificaciones previas a la conexión
 - 7.2.3.1. Inspección visual
 - 7.2.3.2. Verifique las conexiones eléctricas, el cableado y el bus
 - 7.2.3.3. Controle el cableado del circuito de la alimentación principal
 - 7.2.3.4. Controle el cableado del circuito de la alimentación de control
 - 7.2.3.5. Habilite la alimentación de control

- 7.2.4. Configuración de los parámetros iniciales
 - 7.2.4.1. Introducción
 - 7.2.4.2. Conecte el Toolbox
 - 7.2.4.3. Inicialice las utilidades del drive
 - 7.2.4.4. Deshabilite las comunicaciones externas
 - 7.2.4.5. Verifique las I/O del hardware
- 7.2.5. Verificación de la alimentación principal y de campo
 - 7.2.5.1. Introducción
 - 7.2.5.2. Conexión inicial del circuito principal
 - 7.2.5.3. Desplazamiento de fase y orientación de fase del AC principal
 - 7.2.5.4. Desplazamiento de fase y orientación de fase de campo
 - 7.2.5.5. Conexión inicial del circuito de campo
 - 7.2.5.5.1. Verifique el ajuste a escala de la realimentación de corriente de campo
 - 7.2.5.5.2. Supuestos de procedimientos y secuencia del regulador de campo.
 - 7.2.5.5.3. Opere el campo y verifique el ajuste a escala de la realimentación de corriente de campo
 - 7.2.5.6. Conexión inicial del circuito de armadura
 - 7.2.5.6.1. Verifique la configuración del ajuste a escala de la realimentación de la corriente de armadura
 - 7.2.5.6.2. Establezca permisivos y pruebas con forzados
- 7.2.6. Autoajuste del control del motor
 - 7.2.6.1. Asistente de autoajuste de control de campo
 - 7.2.6.1.1. Introducción
 - 7.2.6.1.2. Valores de Ajuste del Regulador Automático de Corriente de Campo (AFCR)
 - 7.2.6.2. Ajuste manual de los valores de corriente de campo
 - 7.2.6.2.1. Introducción
 - 7.2.6.2.2. Ajuste del Regulador Automático de Corriente de Campo (AFCR)
 - 7.2.6.2.3. Test24: Paso AFCR
 - 7.2.6.2.3.1. Introducción
 - 7.2.6.2.3.2. Para comenzar la prueba
 - 7.2.6.2.3.3. Para realizar la prueba
 - 7.2.6.3. Mediciones manuales de parámetros de la armadura del motor
 - 7.2.6.3.1. Introducción
 - 7.2.6.3.2. Ajuste del Regulador Automático de Corriente (ACR)
 - 7.2.6.3.3. Determine el nivel de corriente discontinua
 - 7.2.6.3.4. Test26: ACR Step
 - 7.2.6.3.4.1. Para comenzar la prueba
 - 7.2.6.3.4.2. Para realizar la prueba
- 7.2.7. Verificación de la referencia y de los sensores.
 - 7.2.7.1. Introducción
 - 7.2.7.2. Regulador de Velocidad Automático (ASR) - Estable
 - 7.2.7.3. Verificación de la polaridad de referencia
 - 7.2.7.4. Verificación de sensores
 - 7.2.7.5. Configure la realimentación de velocidad para una aplicación correcta

- 7.2.8. Autoajuste del regulador de velocidad
 - 7.2.8.1. Modelo de regulador de velocidad
 - 7.2.8.2. Tipo de regulador
 - 7.2.8.3. Inercia del Sistema
 - 7.2.8.4. Comando de medición automática de inercia
 - 7.2.8.5. Medición manual de inercia
 - 7.2.8.6. Modo regulador de velocidad
 - 7.2.8.6.1. Ajuste manual del regulador
 - 7.2.8.6.2. Respuesta de primer orden
 - 7.2.8.6.3. Respuesta de segundo orden
 - 7.2.8.6.4. Respuesta de segundo orden con filtro de rigidez
 - 7.2.8.6.5. Comando de cálculo de las ganancias del regulador de velocidad
- 7.2.9. Verificación del funcionamiento del regulador de velocidad
 - 7.2.9.1. Introducción
 - 7.2.9.2. Para comenzar la prueba
 - 7.2.9.3. Para realizar la prueba
- 7.3. Controladora ISC
 - 7.3.1. Características
 - 7.3.2. Programación de la ISC
 - 7.3.2.1. Modificaciones del programa
 - 7.3.2.2. Monitoreo
 - 7.3.2.3. Ventanas de Vigilancia
 - 7.3.2.4. MessageView
 - 7.3.2.5. Data Historian
 - 7.3.3. Arquitectura del Sistema de Control de la grúa
 - 7.3.4. Seteo de los módulos de control de la red Genius en la ISC
 - 7.3.5. Configuración de la comunicación de la ISC con las HMI
 - 7.3.6. Programa de la ISC
 - 7.3.6.1. Estructura principal
 - 7.3.6.2. Estructura del “Hardware and I/O Definitions”
 - 7.3.6.2.1. Red ISBus
 - 7.3.6.2.2. Red Genius
 - 7.3.6.2.3. Red ModBus TCP
 - 7.3.6.2.4. Red EGD
 - 7.3.6.2.5. Main Board - NovRam
 - 7.3.6.3. Estructura de “Functions”
 - 7.3.6.3.1. Logica de “Equipo”
 - 7.3.6.3.1.1. Secuencia “Gral\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.2. Secuencia “HldCls\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.3. Secuencia “Hold\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.4. Secuencia “Close\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.5. Secuencia “Trly\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.6. Secuencia “Boom\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.7. Secuencia “Gantry\Contrl”
 - 7.3.6.3.1.8. Secuencia “Cab\Contrl”

7.3.6.3.2. Logica de “Equipo_auxiliares”

7.3.6.3.2.1. Secuencia “Vbrtr\Contrl”

7.3.6.3.2.2. Secuencia “Fdr\Contrl”

7.3.6.3.2.3. Secuencia “Cintas\Contrl”

7.3.6.3.2.4. Secuencia “Cinta1\Contrl”, “Cinta1\Bomba”, “Cinta1\Freno”, “Cinta2\Contrl”

7.3.6.3.2.5. Secuencia “RCImp\Contrl”

7.3.6.3.2.6. Secuencia “RCImp\RCImp1”, “RCImp\RCImp2”, “RCImp\RCImp3” y “RCImp\RCImp4”

7.3.6.3.2.7. Secuencia “Trly\Blwrs”

7.3.6.3.2.8. Secuencia “Close\Blwrs”

7.3.6.3.2.9. Secuencia “Hold\Blwrs”

7.3.6.3.2.10. Secuencia “Pest\Contrl”

7.3.6.3.2.1. Secuencia “VPS1\Contrl”

7.3.6.3.3. Lógica de “Drives”

7.3.6.3.3.1. Secuencia “HI_Gn\Contrl”

7.3.6.3.3.2. Secuencia “Tr_Bm\Contrl”

7.3.6.3.3.3. Secuencia “Close\Contrl”

7.3.6.3.4. Lógica de “Genius_IO”

7.3.6.3.5. Lógica de “Modbus_TCP”

7.3.6.3.6. Lógica de “ISC”

7.4. Magelis

7.4.1. Introducción

7.4.2. Descripción de las pantallas

8. Resultados

9. Análisis de costos / tiempos

10. Impacto ambiental

11. Bibliografía

12. Anexos

1. Introducción

La planta perteneciente a Ternium S.A., en la ciudad de Ramallo (Bs. As.), es una de las principales empresas siderúrgicas del país. La misma dispone de su propio puerto al río Paraná, denominado Puerto “Ing. Buitrago”, para realizar la descarga de la materia prima, y el envío de bobinas o planchones de acero a sus clientes.

Dicho puerto está dividido en tres partes, el muelle comercial, el muelle mineral y el muelle de barcazas. En el muelle mineral, se encuentran tres guas descargadoras (grúa N° 2, 3 y 4), las cuales descargan el carbón y el mineral necesario para la elaboración del acero. Una de esas grúas, es la grúa N°3, que es utilizada la mayor parte del tiempo, por lo que es de gran importancia el correcto funcionamiento de la misma.

Debido a la antigüedad de los equipos de control de la grúa, se generan fallas en el funcionamiento de la misma, que acarrearán muchas económicas para el puerto. Por lo que se propone el de actualizar la lógica de control (PLC y drives de CC) y a su vez, también poder proporcionar un mejor diagnóstico para el personal de mantenimiento.

Los movimientos de la grúa (Izaje, Cierre, Traslación puente, Traslación carro y levantamiento del Brazo), son realizados por motores de corriente continua, controlados por tres drives (Drive de Cierre, Levante/Traslación y Carro/Brazo), de la marca GE (General Electric S.A.), de la serie DC2000 y por un PLC de la misma marca, de la serie LM9030, que realiza el escaneo de las señales de campo de la grúa, por medio de una red de control propia de GE, denominada “Red “Genius”.

Dicha red comunica al PLC con las señales de campo, a través de “nodos E/S” remotos, ubicados en distintas partes de la grúa y vinculados a través de un enlace de fibra óptica.



2. Objetivos

Dicho control presenta problemas de funcionamiento (debido a la antigüedad de los componentes, las diversas modificaciones en el conexionado, etc.), y proporciona muy poca información de diagnóstico

de fallas, por lo que se propone migrar a una versión más moderna de control. También se propuso actualizar las pantallas de interfaz con los usuarios (HMI-Human Machine Interface), por un modelo más moderno y con mejores prestaciones, ya que el que está actualmente instalado fue discontinuado. Otro punto a tener en cuenta, es que debido a la antigüedad de los componentes, los mismos han dejado de ser fabricados, afectando nuestro stock de repuestos, por lo que la necesidad de una actualización es de gran importancia.

3. Descripción del problema

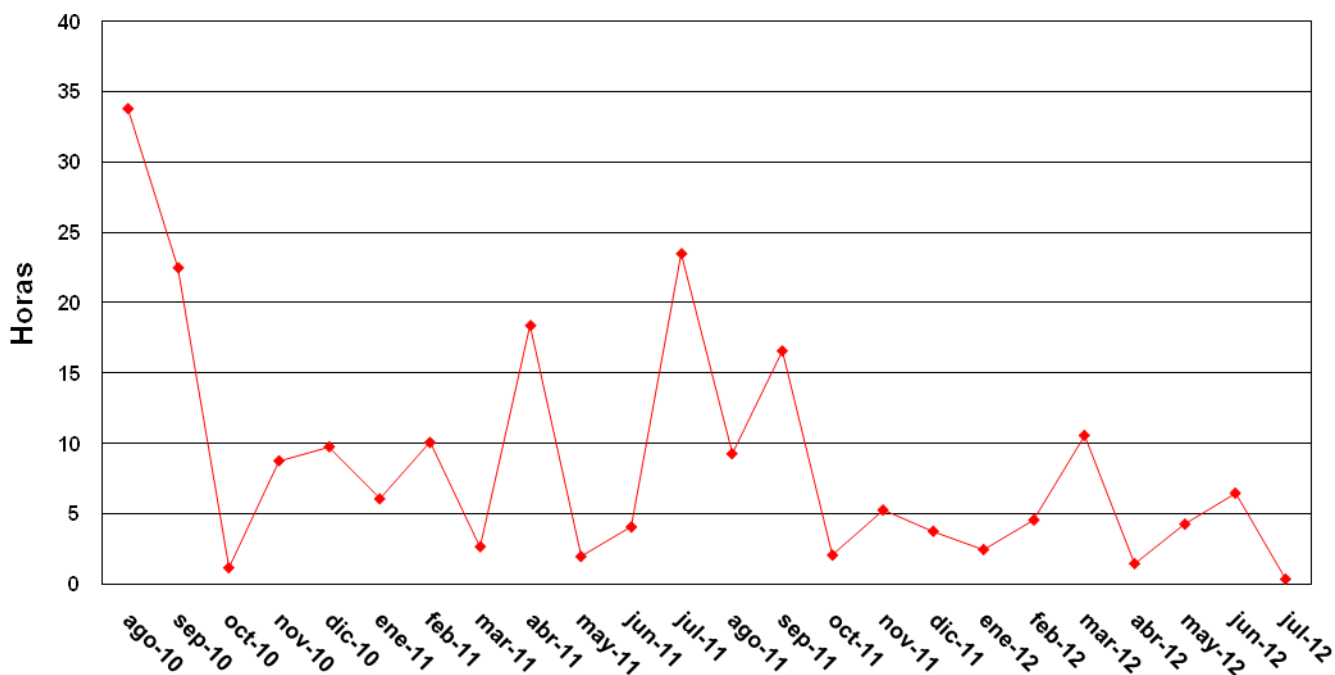
La UCN°3, es una grúa descargadora estilo “puente” con una estructura que data de la década del ‘70 y cuya “lógica de control” fue actualizada a mediados de los ‘90 por la empresa GE. En dicha reforma se reemplazaron la secuencia de contactores y relés que comandaban a los motores, por la lógica que tenemos actualmente instalada.

Desde la última gran reforma han transcurrido más de 15 años, donde el mantenimiento del día a día, las correcciones temporales de fallas y la antigüedad de los materiales, generan la presencia de problemas en el correcto funcionamiento de los dispositivos.

Son casi periódicos los problemas en la comunicación entre los drives, las alarmas por errores en la memoria interna de los mismos, la incapacidad de “encender” la grúa (habilitar el control) y demás ejemplos que provocan una carga económica mensual que se desea evitar.

Estimando que la empresa, por hora de demora durante la descarga del barco abona aproximadamente U\$S10.000, y considerando que la grúa genera en promedio demoras de más de 30 hrs al mes. El total de las demoras en el transcurso de un año resulta en un monto económico muy grande.

A continuación, se puede observar la suma total de las horas mensuales por fallas de la grúa, en un periodo de dos años:



La fallas eléctricas se pueden clasificar en:

1. Red Genius:

- Falla en los cabezales de los nodos remotos (ver figura N°57).
- Reemplazo de los módulos de IO.
- Falla comunicación del modulo de conversión de FO/Genius del Carro móvil, con el resto de la red de FO (ver figura N°60).

2. Drive Izaje/Traslación:

- Fallas esporádicas de memoria EEPROM de la tarjeta de control LDCC.
- Fallas esporádicas de comunicación DLAN con el drive de Cierre.
- Falla esporádica del fusible del puente de tiristores de la armadura.
- Falla en la comunicación entre el drive y la PC.
- Lógica de control del drive muy compleja, y distribuida entre el PLC y el drive, por lo que dificultaba su correcto análisis.
- Falta de información de diagnostico en el momento de una falla. Solamente se indicaba un código numérico de fallas, el cual tenía que ser buscado en el manual de usuario. No se proporcionaba ninguna información extra del proceso, como para poder asociar la falla con sus supuestas causas. Por ejemplo: si se producía una falla de sobre corriente de armadura (la N°121 del listado de fallas) no se disponía de un trending de la misma para ver si la falla fue por esa razón, o por alguna mal funcionamiento de los componentes de feedback del drive.

3. Drive Cierre:

- Fallas esporádicas de memoria EEPROM de la tarjeta de control LDCC.
- Fallas esporádicas de comunicación DLAN con el drive de Izaje.
- Falla en la comunicación entre el drive y la PC.
- Lógica de control del drive muy compleja, y distribuida entre el PLC y el drive, por lo que dificultaba su correcto análisis.
- Falta de información de diagnostico en el momento de una falla. Solamente se indicaba un código numérico de fallas, el cual tenía que ser buscado en el manual de usuario. No se proporcionaba ninguna información extra del proceso, como para poder asociar la falla con sus supuestas causas. Por ejemplo: si se producía una falla de disparo de los tiristores del puente de armadura (la N°201 del listado de fallas) no se disponía de un trending de la tensión de armadura para ver si la falla fue por esa razón, o por alguna mal funcionamiento de los componentes de PCCA del drive.

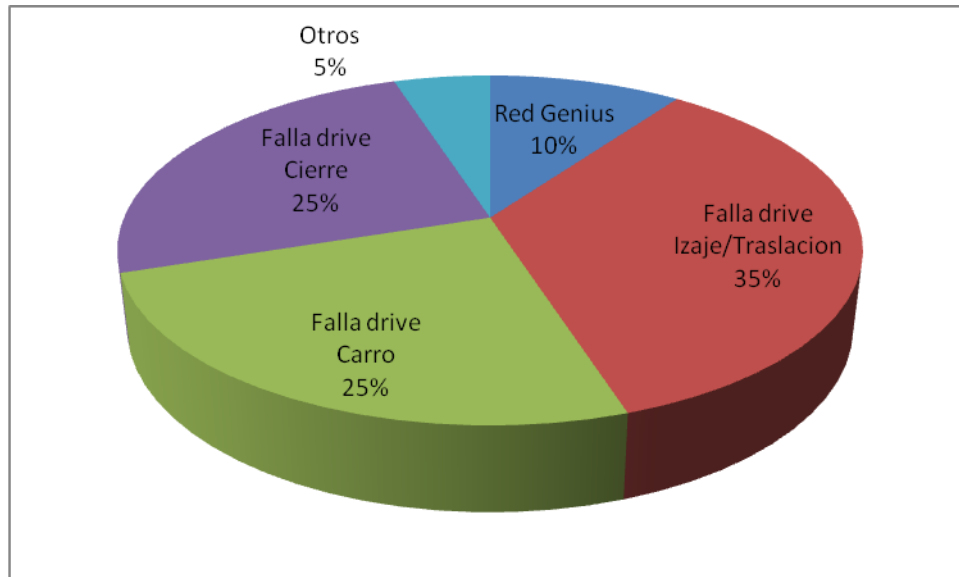
4. Drive Carro/Brazo:

- Pérdida de posición del encoder del Carro.
- Pérdida de posición del encoder del Brazo
- Los capacitores de la tarjeta de control DCFB se quemaron (falla esporádica). El proveedor nos indico que fue debido a la antigüedad de los componentes, y debido a que su fabricación fue discontinuada, se tuvo que reemplazar por la última tarjeta de control de potencia de repuesto.
- Falla en la comunicación entre el drive y la PC.
- Lógica de control del drive muy compleja, y distribuida entre el PLC y el drive, por lo que dificultaba su correcto análisis.
- Falta de información de diagnostico en el momento de una falla. Solamente se indicaba un código numérico de fallas, el cual tenía que ser buscado en el manual de usuario. No se proporcionaba ninguna información extra del proceso, como para poder asociar la falla con sus supuestas causas. Por ejemplo: si se producía una falla de encoder (la N°189 del listado de fallas) no se disponía de un trending de la señal del mismo para ver si la falla fue por esa razón, o por alguna mal funcionamiento de los componentes de feedback del drive.

5. Otros:

- Falla en el arranque de las cintas (N°1 y N°2) (ver figura N°51).
- Falla de los drives de AC que comandan a los motores de la bandeja de alimentación (ver figura N°53).
- Falla en el arranque de los vibradores de la tolva principal (ver figura N°53).

El porcentaje de presencia aproximado de cada una de estas fallas se puede observar en el siguiente diagrama:

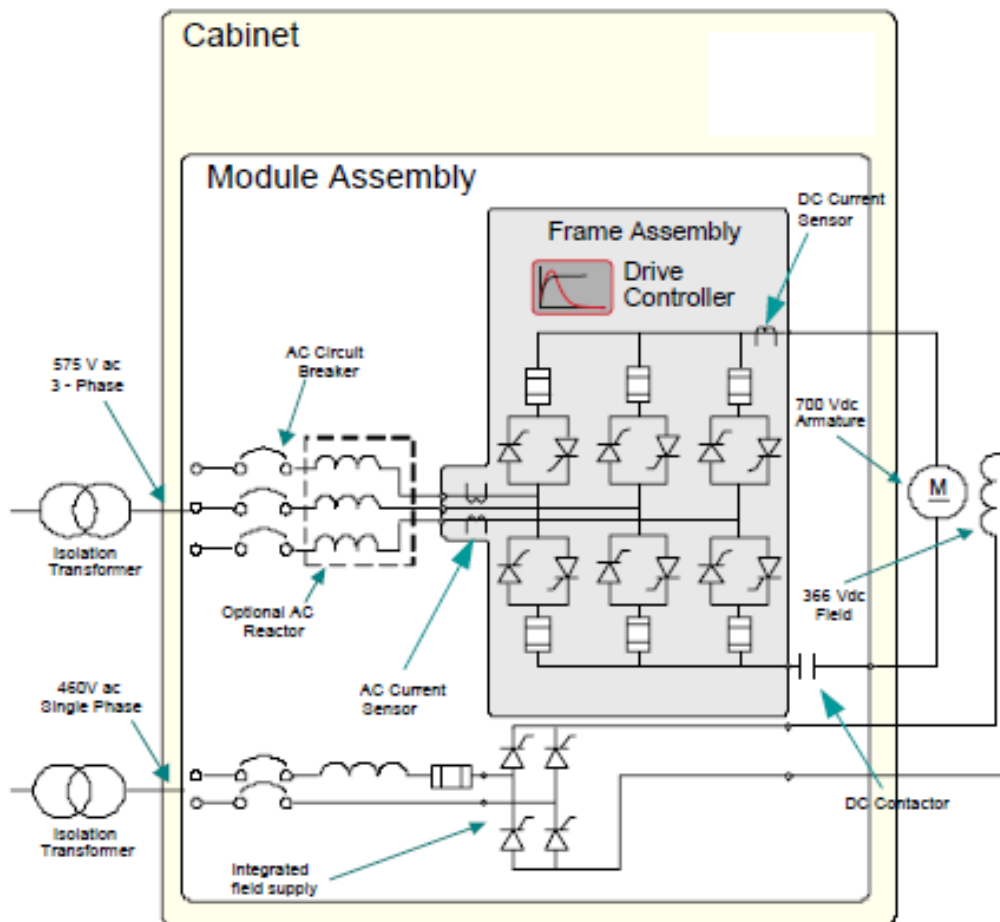


4. Propuesta de solución

Analizando los problemas descritos anteriormente en la grúa, se planteo que la solución para reducir el porcentaje de demoras consistiría en actualizar los componentes de control de los motores de la grúa, pero preservando los componentes de potencia (alimentación de armadura y campo) y los motores de continua de la grúa. La alimentación de armadura está constituida por el puente de tiristores (12 tiristores de 1200Vac y 800A), las inductancias y capacitancias de filtrado y los fusibles de protección (700A, 700Vac).

También se preservan las fuentes de corriente continua, que alimentan el campo de los motores. Esto se realizo ya que los mismos se encontraban en perfecto funcionamiento, y además aumentaba el monto a invertir en la mejora.

En la siguiente imagen se pueden observar los elementos que componen a los drives instalados:



Otra de las modificaciones a realizar, es reemplazar el PLC que controla el IO de la grúa, por un dispositivo de control que proporcione un mejor y mayor diagnostico, así como también las pantallas táctiles de la Cabina del operador y de la Sala Eléctrica N°1, por las razones antes mencionadas.

5. Fundamentación teórica

5.1. Teoría de motores de continua

5.1.1. Introducción

Para interpretar las razones de la modificación en el control de los motores principales de la grúa, se debe poder conocer los principios físicos que emplean estos motores.

La mayoría de las máquinas de corriente continua son semejantes a las máquinas de corriente alterna ya que en su interior tienen corrientes y voltajes de corriente alterna. Las máquinas de corriente continua tienen corriente continua sólo en su circuito exterior debido a la existencia de un mecanismo que convierte los voltajes internos de corriente alterna en voltajes de corriente continua en los terminales.

Este mecanismo se llama colector, y por ello las máquinas de corriente continua se conocen también como máquinas con colector.



Figura 1.- Motor de corriente continua

5.1.2. Principio de generación

Un “dínamo” es un generador eléctrico destinado a la transformación de flujo magnético en electricidad mediante el fenómeno de la inducción electromagnética, generando una corriente continua.

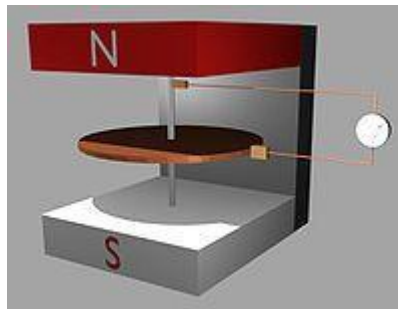


Figura 2.- Disco de Faraday

Está basado en la ley de Faraday, la cual nos dice que la variación de un conductor que corta perpendicularmente un campo magnético se induce una fuerza electromotriz (FEM) en los extremos del conductor.

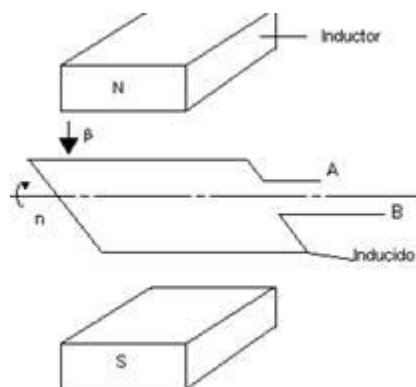


Figura 3. Principio de generación

Si una armadura gira entre dos polos de campo fijos, la corriente en la armadura se mueve en una dirección durante la mitad de cada revolución, y en la otra dirección durante la otra mitad. Para producir un flujo constante de corriente en una dirección, o continua, en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante

cada revolución. En las máquinas antiguas esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura.

Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contra del conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos.

Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su dirección dentro de la bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de una dirección en el circuito exterior al que el generador estaba conectado.

5.1.3. Reacción del inducido

Cuando la dinamo está en carga, el flujo del inductor se distorsiona debido al flujo magnético creado por la corriente del inducido, el cual es perpendicular al flujo magnético principal creado por los polos inductores (Φ_p).

Aunque aparentemente el flujo principal no varía, pues se reduce en los cuernos de entrada pero aumenta en los cuernos de salida, en realidad el flujo principal disminuye pues la distorsión del mismo aumenta su recorrido, es decir su reluctancia magnética, se crea saturación de los cuernos polares y además aumentan las fugas magnéticas, coadyugando todo ello en la disminución de la fem en carga E_c respecto a la fem en vacío E_v . Este fenómeno se conoce con el nombre de reacción magnética en el inducido:

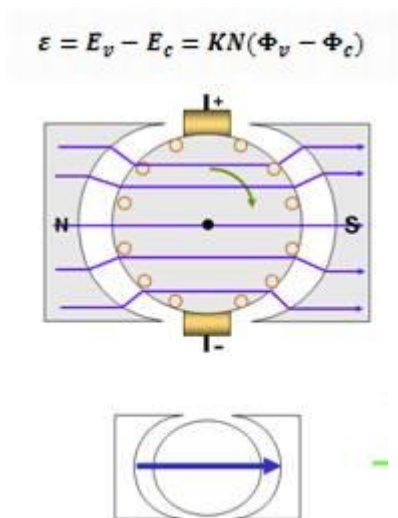


Figura 4.- Campo magnético del inductor

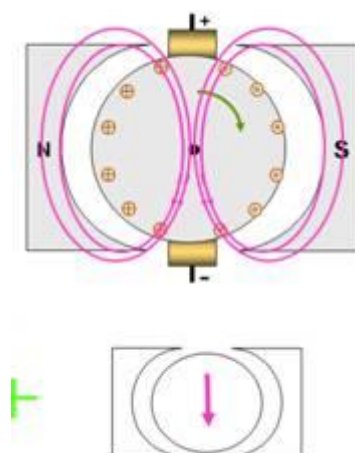


Figura 5.- Campo magnético del inducido

En las figuras 4 y 5 se representa los dos campos magnéticos presentes en una maquina en dc, y si sumamos los dos campos encontramos nuestro campo resultante que podremos apreciar en la figura 6.

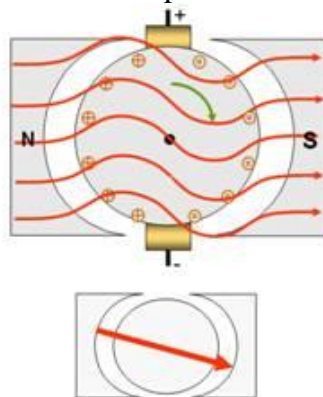


Figura 6.- Campo magnético resultante

Como observamos en la figura 7 la corriente en el inducido provoca un cambio de magnitud y dirección del campo lo que con lleva a la consecuencia de que la línea neutra (línea que une los conductores que no producen fem) en carga, adelanta respecto del sentido de giro un ángulo “ α ”, tomada como referencia la línea neutra en vacío:

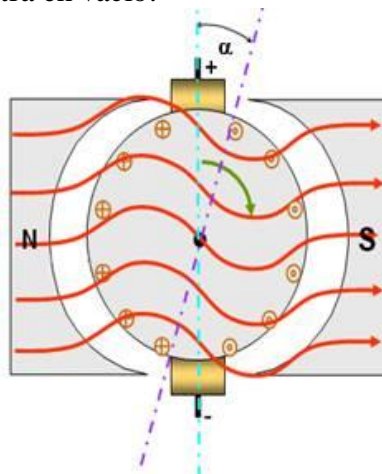


Figura 7.- Desviación de la línea neutra

Los inconvenientes de la reacción del inducido son:

- Disminuye la fem en carga **Ec**.
- Disminuye indirectamente el rendimiento (pues se ha de aumentar la corriente de excitación para compensar el efecto anterior, disminuye el rendimiento).
- Crea peligro de chispas en el colector
- Aumenta las dificultades para realizar una buena conmutación.
- Deformación del campo magnético en la máquina, lo que da origen al desplazamiento de la línea teórica.
- Aumento considerable de las pérdidas en el hierro al existir una mayor densidad de flujo.
- Disminución del flujo útil originando una menor fem inducida.

5.1.4. Conmutación

El proceso de conmutación no es tan simple ya que se debe realizar un exhaustivo diseño para lograr la menor pérdida posible.

El problema de la conmutación es originado debido al desplazamiento del rotor, que cuando las escobillas quedan pisando diferentes delgas, por lo que se puede dar el caso de que la escobilla pise una delga al inicio, al final o pise dos delgas a la vez.

Esto produce picos en la conmutación provocando:

- Pérdidas de potencia.
- Generación de voltajes ($L \cdot di/dt$).
- Reduce el funcionamiento de la máquina.

Por lo que existe la posibilidad de emplear devanados de compensación. Para eliminar el debilitamiento del flujo, se desarrolló una técnica diferente que incluye la disposición de devanados de compensación en ranuras labradas en las caras de los polos paralelos a los conductores del rotor para cancelar el efecto de distorsión de la reacción del inducido. Estos devanados están conectados en serie con los devanados del rotor, de modo que cuando cambia la carga en el rotor, cambia también la corriente en los devanados de compensación. Como se muestra en la figura N°8.

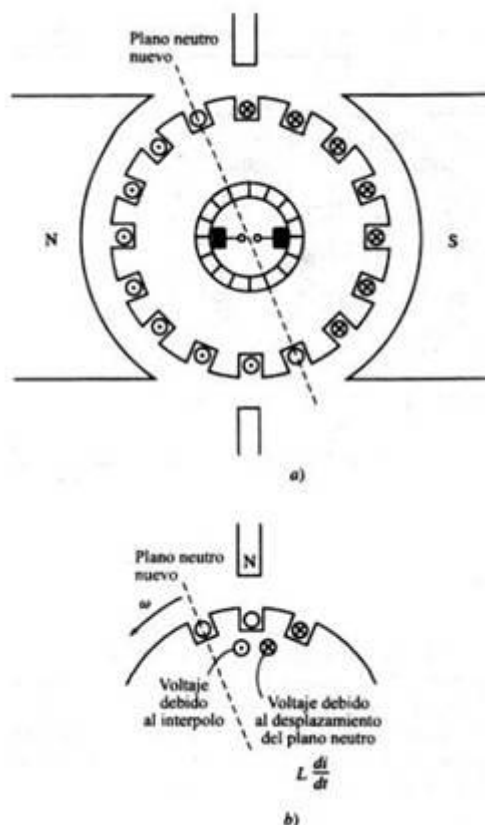


Figura 8.- Devanados de compensación

La figura 8, muestra un desarrollo más cuidadoso del efecto de los devanados de compensación en una máquina dc. Nótese que la fuerza magnetomotriz debida a los devanados de compensación es igual y opuesta a la fuerza magnetomotriz generada por el rotor, y de cada punto situado debajo de las caras polares. La fuerza magnetomotriz neta resultante es causada por los polos, de modo que el flujo en la máquina no se modifica, independientemente de la carga, como se observa en la figura N°9.

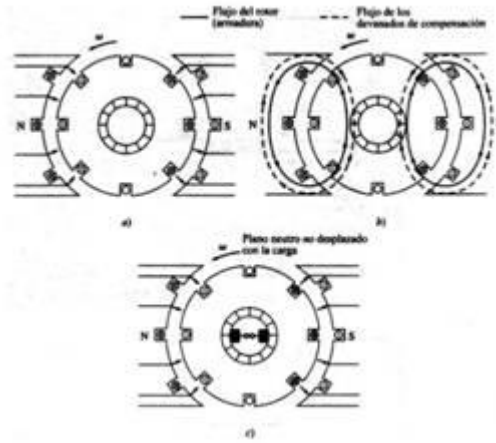


Figura 9.- Estator DC con devanados de compensación

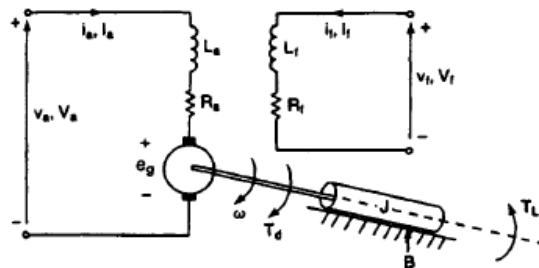
La principal desventaja de los devanados de compensación es que son costosos, puesto que deben maquinarse las caras de los polos. Todo motor que los utiliza debe tener interpolos, ya que los devanados de compensación no cancelan los efectos de generación de voltajes. Los interpolos no deben ser tan robustos sin embargo, puesto que cancelan únicamente los voltajes inductivos, en los devanados y no los voltajes debido al desplazamiento del plano neutral. Debido a lo costoso que resulta tener devanados de compensación e interpolos en tal máquina, éstos devanados sólo se utilizan cuando la naturaleza muy pesada del trabajo del motor lo demanda.

5.1.5. Características del motor de corriente continúa.

El circuito equivalente de un motor de cd de excitación independiente o separada, se muestra en la figura 15.

de

excitado corriente del circuito de una armadura i_a , una fuerza



Cuando un motor excitación independiente es mediante una campo i_f y en el la armadura fluye corriente de la el motor desarrolla contra

electromotriz y un par motor a una velocidad determinada, para equilibrar el par motor de la carga. La corriente del campo i_f de un motor de excitación separada es independiente de la corriente de la armadura i_a , por lo que cualquier modificaron en la corriente de la armadura no tiene efecto sobre la corriente de campo. La corriente del campo, por lo general, es mucho menor que la corriente de la armadura.

Las ecuaciones que describen las características de un motor de excitación independiente pueden determinarse a partir de la figura 10. La corriente instantánea del campo i_f se describe como:

$$V_f = R_f * i_f + L_f * (di_f / dt)$$

La corriente instantánea de la armadura se puede determinar a partir de:

$$V_a = R_a * i_a + L_a * (di_a / dt) + e_g$$

Figura 10.- Circuito equivalente para motores de CD con excitación independiente

La fuerza contra electromotriz del motor, que también se conoce como voltaje de velocidad, se expresa como:

$$e_g = K_v \cdot \omega \cdot i_f$$

El par desarrollado por el motor es:

$$T_d = K_t \cdot i_a \cdot i_f$$

El par motor desarrollado deberá ser igual al par motor de la carga:

$$T_d = J \cdot (d\omega / dt) + B \cdot \omega + T_L$$

Donde:

- ω = es la velocidad del motor, rad/s;
- B = es la constante de la fricción viscosa, N*m/rad/s;
- K_v = es la constante de voltaje, V/A-rad/s;
- $K_t = K_v$ = es la constante del par motor;
- L_a = inductancia del circuito de armadura, H;
- L_f = inductancia del circuito del campo, H;
- R_a = resistencia del circuito de la armadura, Ω ;
- R_f = resistencia del circuito del campo, Ω ;
- T_L = par motor de la carga, N*m;

Bajo condiciones de régimen permanente, las derivadas de tiempo de estas ecuaciones son cero y las cantidades promedio son:

$$V_f = R_f \cdot I_f \tag{1}$$

$$E_g = K_v \cdot \omega \cdot I_f \tag{2}$$

$$V_a = R_a \cdot I_a + E_g = R_a \cdot I_a + K_v \cdot \omega \cdot I_f \tag{3}$$

$$T_d = K_t \cdot I_a \cdot I_f \tag{4}$$

$$T_d = B \cdot \omega + T_L \tag{5}$$

La potencia desarrollada es:

$$P_d = \omega T_d \tag{6}$$

La relación entre la corriente del campo I_f y la fuerza contra electromotriz E_g no es lineal debido a la saturación magnética. La relación, que se muestra en la figura 11, se conoce como característica de magnetización del motor.

A partir de la ecuación 3, la velocidad del motor de excitación separada se puede determinar a partir de:

$$\omega = (V_a - R_a \cdot I_a) / (K_v \cdot I_f) = (V_a - R_a \cdot I_a) / (K_v \cdot (V_f / R_f)); \tag{7}$$

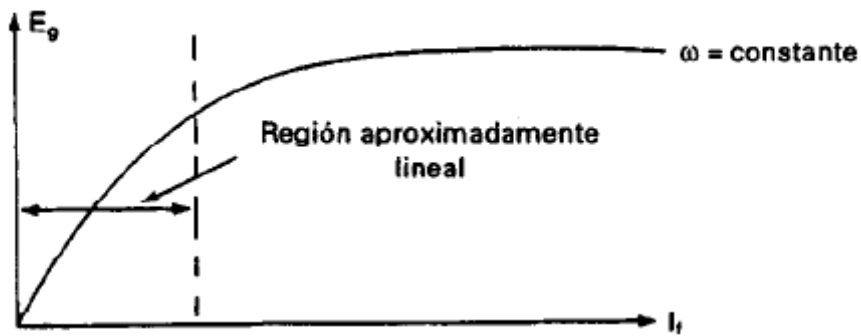
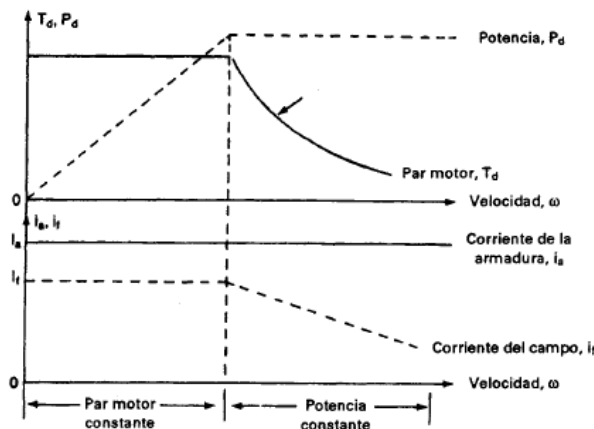


Figura 11.- Característica de magnetización

Podemos
ecuación
velocidad
variar



observar de la
anterior, que la
del motor puede
mediante:

1. el control del voltaje de la

- armadura V_a , que se conoce como control de voltaje ;
2. el control de la corriente del campo I_f , conocido como control del campo;
 3. la demanda del par motor, que corresponde a una corriente de armadura I_a , para una corriente fija del campo I_f .

Figura 12.- Característica de los motores con excitación independiente.

Figura 13.- Circuito equivalente de los motores serie.

La velocidad que corresponde al voltaje especificado de la armadura, a la corriente especificada del campo y a la corriente especificada de la armadura, es conocida como **velocidad base**. En la práctica, para una velocidad menor que la velocidad base, la corriente de la armadura y la corriente del campo se mantienen constantes, a fin de hacer frente a la demanda del par motor, y a fin de controlar la velocidad se varía el voltaje de la armadura, V_a . Para velocidades mayores que la velocidad base, el voltaje de la armadura se mantiene en el voltaje especificado, y a fin de controlar la velocidad se varía la corriente del campo. Sin embargo, la potencia desarrollada por el motor (= par motor * velocidad) se conserva constante. La figura 12 muestra las características del par motor, la potencia, la corriente de la armadura y la corriente del campo en función de la velocidad. El campo de un motor de cd se puede conectar en serie con el circuito de la armadura, tal y como se muestra en la figura 13; este tipo de motor se conoce como un motor **serie**. El circuito del campo se diseña de tal forma que pueda conducir la corriente de la armadura. Las cantidades promedio en régimen permanente son:

$$E_g = K_v * \omega * I_a \tag{8}$$

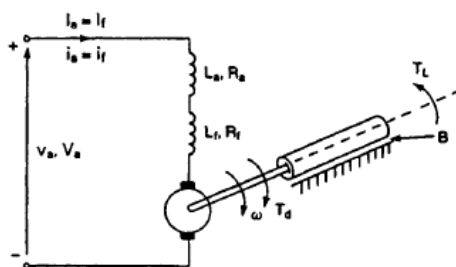
$$V_a = (R_a + R_f) * I_a + E_g = (R_a + R_f) * I_a + K_v * \omega * I_a \tag{9}$$

$$T_d = K_t * I_a * I_f \tag{10}$$

$$T_d = B * \omega + T_L \tag{11}$$

A partir de la ecuación la velocidad de un motor

$$\omega = (V_a - (R_a + R_f) * I_a) / \tag{12}$$



(14-10) se puede determinar en serie:

$$(K_v * I_a)$$

La velocidad puede

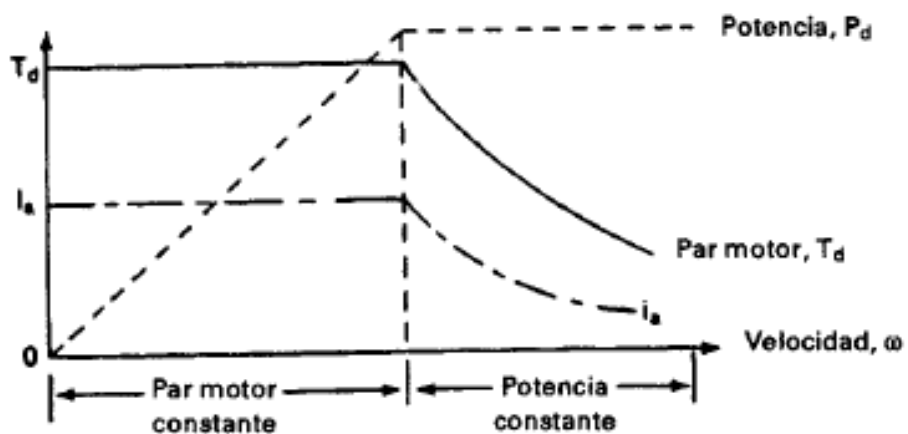
1. el voltaje de la armadura V_a
2. la corriente de la armadura, que es una medida de la demanda del par motor;

variarse controlando:

La ecuación (11) indica que un motor serie puede proporcionar un par motor alto, especialmente en el arranque; por esta razón los motores serie son comúnmente utilizados en aplicaciones de tracción.

Para una velocidad hasta la velocidad base, el voltaje de la armadura se varía manteniendo constante el par motor, Una vez aplicado el voltaje de especificación de la armadura, la relación velocidad-par motor sigue la característica natural del motor, y la potencia (= par motor*velocidad) se conserva

una
la
alta



constante. Conforme la demanda de par motor se reduce, aumenta la velocidad. A carga muy baja, velocidad puede resultar muy por lo que no es aconsejable operar sin carga

un motor serie de cd. La figura 14 muestra las características de los motores serie.

Figura 14.- Características de los motores serie de cd.

5.1.6. Modos de operación

En las aplicaciones de velocidad variable, un motor de continua puede operarse en una o más modos:

- como motor;
- como freno regenerativo;
- como freno dinámico;
- como freno invirtiendo rotación;
- cuatro cuadrantes;

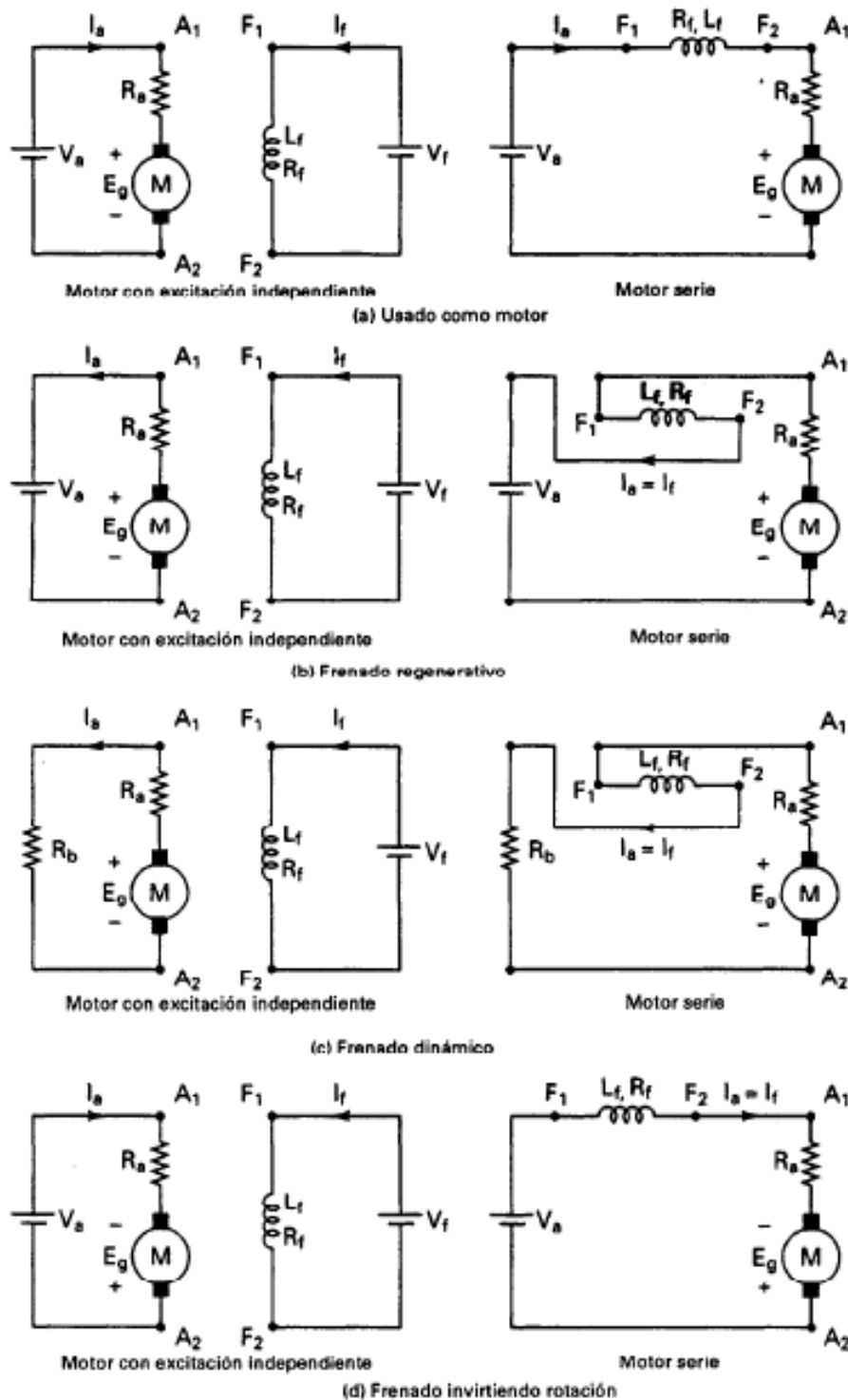
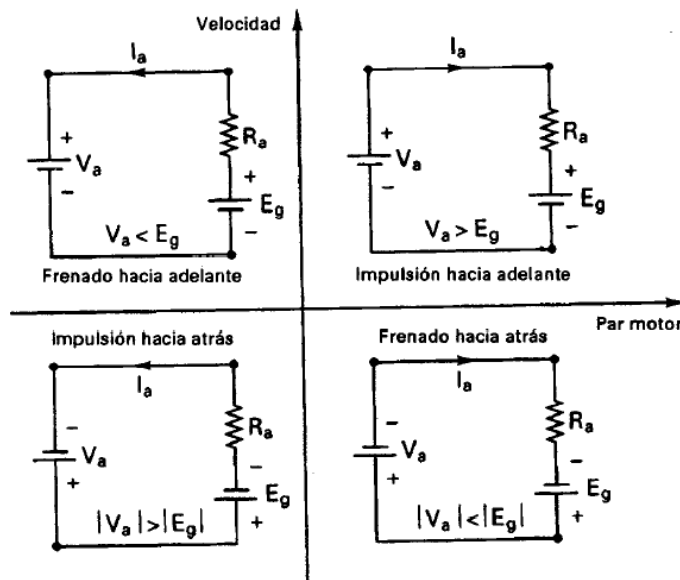


Figura 15.- Modos de operación

1. Como motor: Las disposiciones para el modo de operación como motor se muestran en la figura 15a. La fuerza contra electromotriz E_g es menor que el voltaje de alimentación V_a . Tanto la corriente de la armadura como la del campo son positivas. El motor desarrolla un par motor para cumplir con la demanda de la carga.

2. Frenado regenerativo: La disposición para el frenado regenerativo se muestra en la figura 15b. El motor actúa como un generador y desarrolla un voltaje inducido E_g . La E_g debe ser mayor que el voltaje de alimentación V_a . La corriente de la armadura es negativa, pero la corriente del campo es positiva. La energía cinética del motor es devuelta a la alimentación. Un motor serie es por lo general

conectado en forma de excitado. Para la necesario que la campo ayude al flujo obtiene normalmente inversión de las armadura o las campo.



generados auto autoexcitación, es corriente del residual. Esto se mediante la terminales de la terminales del

3. Frenado disposiciones figura 15c son frenado regenerativo, voltaje de alimentación por una resistencia de energía cinética del R_b .

dinámico: Las mostradas en la similares a las del excepto porque el V_a es reemplazado frenado R_b . La motor se disipa en

4. Frenado invertido rotación: Las conexiones para el frenado invirtiendo rotación se muestran en la figura 15d. Las terminales de la armadura se invierten durante la operación. El voltaje de la alimentación V_a y el voltaje inducido E_g actúan en la misma dirección. La corriente de la armadura se invierte, y produce por lo tanto un par motor de frenado. La corriente del campo es positiva. En el caso de un motor serie, deberán invertirse las terminales de la armadura o las del campo, pero no ambas.

5. Cuatro cuadrantes: En la figura 16 se muestran las polaridades del voltaje de alimentación V_a , de la fuerza contra electromotriz E_g y de la corriente de la armadura I_a para un motor de excitación independiente. Como motor hacia adelante (cuadrante I), V_a , E_g e I_a son todos positivos. También son positivos en este cuadrante el par motor y la velocidad.

Durante el frenado directo o hacia adelante (cuadrante II) el motor opera en dirección directa y la fuerza contra electromotriz inducida E_g permanecerá positiva. Para que el par motor sea negativo y se invierta la dirección del flujo de energía, la corriente de la armadura deberá ser negativa. El voltaje de alimentación V_a debe conservarse inferior a E_g .

Como motor en reversa (cuadrante III), V_a , E_g e I_a son todas negativas. Para conservar negativo el par motor y el flujo de energía de la fuente al motor, la fuerza contra electromotriz E_g debe satisfacer la condición $|V_a| > |E_g|$. Se puede invertir la polaridad de E_g si se modifica la dirección de la corriente del campo o se invierten las terminales de la armadura.

Durante el frenado en reversa (cuadrante IV), el motor gira en dirección inversa, V_a y E_g son negativas. Para que el par motor sea positivo y la energía fluya del motor a la fuente, la corriente de la armadura debe ser positiva. La fuerza contra electromotriz inducida E_g debe satisfacer la condición $|V_a| < |E_g|$.

Figura 16.-Condiciones para los cuatro cuadrantes

5.2.Modos de control

5.2.1. Introducción

El sistema a lazo cerrado empleado por los drives, que se utiliza para poder regular y proteger a los motores de la grúa. El mismo se basa en un principio complejo de control, por lo que es importante poder conocer sus distintos variantes.

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de agentes exteriores (incluido el factor humano), corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Actualmente, cualquier mecanismo, sistema o planta industrial presenta una parte actuadora, que corresponde al sistema físico que realiza la acción, y otra parte de mando o control, que genera las órdenes necesarias para que esa acción se lleve.

5.2.2. Conceptos

Algunos conceptos utilizados durante el control de un proceso son:

- **Variables del sistema:** son todas las magnitudes, sometidas a vigilancia y control, que definen el comportamiento de un sistema (velocidad, temperatura, posición, etc.).
- **Entrada:** es la excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta.
- **Salida:** es la respuesta que proporciona el sistema de control.
- **Perturbación:** son las señales no deseadas que influyen de forma adversa en el funcionamiento del sistema. Por ejemplo abrir una ventana representa una perturbación en el sistema de control de temperatura mediante termostato.
- **Planta:** sistema sobre el que pretendemos actuar.
- **Sistema:** es un conjunto de elementos interrelacionados capaces de realizar una operación dada o de satisfacer una función deseada.
- **Entrada de mando:** señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.
- **Señal de referencia:** es una señal de entrada conocida que nos sirve para calibrar al sistema.
- **Señal activa:** también denominada señal de error. Representa la diferencia entre la señal de entrada y la realimentada.
- **Unidad de control:** gobierna la salida en función de una señal de activación.
- **Unidad de realimentación:** está formada por uno o varios elementos que captan la variable de salida, la acondicionan y trasladan a la unidad de comparación.

- **Actuador:** es un elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso.
- **Transductor:** transforma una magnitud física en otra que es capaz de interpretar el sistema.
- **Amplificador:** nos proporciona un nivel de señal procedente de la realimentación, entrada, comparador, etc., adecuada al elemento sobre el que actúa.

5.2.3. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de regulación se pueden clasificar principalmente en:

- **Sistemas de lazo abierto:** son aquellos en los que la acción de control es independiente de la salida.
- **Sistemas de lazo cerrado:** son aquellos en los que la acción de control depende en cierto modo, de la salida.

5.2.3.1. Sistemas de control en lazo abierto

Un sistema de control en lazo abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto se observa en la figura 17.



Figura 17.- Sistema en lazo abierto

El sistema se controla bien directamente, o bien mediante un transductor y un actuador. El esquema típico del sistema será, se observa en la figura 18.

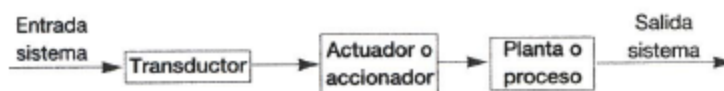


Figura 18.- sistema en lazo abierto con transductor

El transductor modifica o adapta la naturaleza de la señal de entrada al sistema de control.

En el caso del sistema de control de la temperatura de una habitación, para que sea un sistema abierto es necesario que no exista termostato, de manera que siga funcionando permanentemente. La entrada del sistema sería la temperatura ideal de la habitación; la planta o proceso sería la habitación y la salida sería la temperatura real de la habitación. El transductor podría ser un dial en el que definamos el tiempo de funcionamiento y el actuador el propio foco de calefacción (caldera o radiador).

El actuador o accionador modifica la entrada del sistema entregada por el transductor (normalmente amplifica la señal).

Como vemos los sistemas de lazo abierto dependen de la variable temporal y la salida no depende de la entrada.

El principal inconveniente que presentan los sistemas de lazo abierto es que son extremadamente sensibles a las perturbaciones. Por ejemplo si en una habitación se ha conseguido una temperatura idónea y se abre una puerta o ventana (perturbación) entraría aire frío, de manera que el tiempo necesario para obtener dicha temperatura sería diferente.

5.2.3.2. Sistemas de control en lazo cerrado

Si en un sistema en lazo abierto existen perturbaciones, no se obtiene siempre la variable de salida deseada. Conviene, por tanto, utilizar un sistema en el que haya una relación entre la salida y la entrada.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesaria que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

A veces también se le llama a la realimentación transductor de la señal de salida, ya que mide en cada instante el valor de la señal de salida y entrega un valor proporcional a dicha señal.

Por lo tanto podemos definir también los sistemas de control en lazo cerrado como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado se observa en la figura 20.

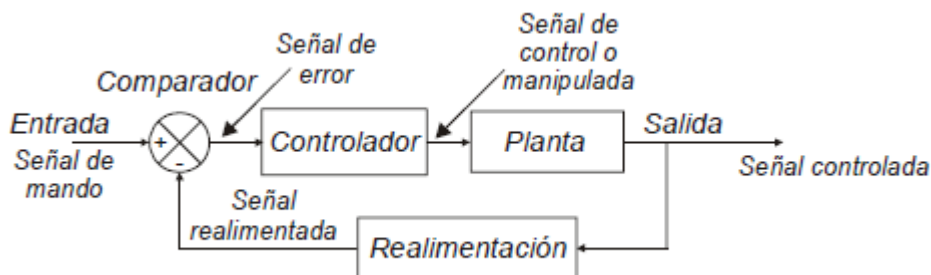


Figura 20.- Sistema de control en lazo cerrado

El controlador está formado por todos los elementos de control y a la planta también se le llama proceso.

En este esquema se observa cómo la salida es realimentada hacia la entrada. Ambas se comparan, y la diferencia que existe entre la entrada, que es la señal de referencia o consigna (señal de mando), y el valor de la salida (señal realimentada) se conoce como error o señal de error. La señal que entrega el controlador se llama señal de control o manipulada y la entregada por la salida, señal controlada.

El error, o diferencia entre los valores de la entrada y de la salida, actúa sobre los elementos de control en el sentido de reducirse a cero y llevar la salida a su valor correcto. Se intenta que el sistema siga siempre a la señal de consigna.

El diagrama de bloques anterior se puede sustituir por el que se observa en la figura 21.



Figura 21.- Sistema de control en lazo cerrado

La salida del sistema de regulación se realimenta mediante un captador. En el comparador o detector de error, la señal de referencia (salida del transductor) se compara con la señal de salida medida por el captador, con lo que se genera la siguiente señal de error:

$$e(t) = r(t) - b(t)$$

, donde:

- $e(t)$ → es la señal de error,
- $r(t)$ → la señal de referencia,

- $b(t) \rightarrow$ la variable realimentada.

Pueden suceder dos casos:

- **Que la señal de error sea nula:** En este caso la salida tendrá exactamente el valor previsto.
- **Que la señal de error no sea nula:** Esta señal de error actúa sobre el elemento regulador que a su salida proporciona una señal que, a través del elemento accionador, influye en la planta o proceso para que la salida alcance el valor previsto y de esta manera el valor se anule.

En el ejemplo de control de temperatura, el sistema es la habitación que se quiere calentar, el transductor puede ser un dial con el que se define el grado de calentamiento, el actuador o accionador una caldera o un radiador y el captador puede ser un termómetro. Este último actúa como sensor midiendo la temperatura del recinto, para que pueda ser comparada con la de referencia.

El regulador o controlador es el elemento que determina el comportamiento del bucle, por lo que debe ser un componente diseñado con gran precisión. Es el cerebro del bucle de control.

Mientras que la variable controlada se mantenga en el valor previsto, el regulador no actuará sobre el elemento accionador. Pero si el valor de la variable se aleja del prefijado, el regulador modifica su señal, ordenando al accionador que actúe sobre la planta o proceso, en el sentido de corregir dicho alejamiento.

Los sistemas en lazo cerrado son mucho menos sensibles a las perturbaciones que los de lazo abierto, ya que cualquier modificación de las condiciones del sistema afectará a la salida, pero este cambio será registrado por medio de la realimentación como un error que es en definitiva la variable que actúa sobre el sistema de control. De este modo, las perturbaciones se compensan, y la salida se independiza de las mismas.

5.2.3.2.1. Control de dos posiciones (ON-OFF)

Los controladores de éste tipo tienen dos posiciones estables, conmutando entre uno y otro según el valor de $E(s)$. Para evitar que el control conmute en forma descontrolada, la variable de control $m(s)$ cambiará de valor sólo cuando $E(s)$ presente valores fuera de un cierto intervalo, de esta manera se define como zona muerta ó brecha diferencial al intervalo dentro del cual el controlador no conmuta. La brecha diferencial permite que el controlador no conmute indiscriminadamente ante pequeñas variaciones de $E(s)$, (en general debido a ruidos).

Lo anterior se puede expresar con un diagrama de un bloque (figura 22) donde las variables son:

- **de entrada** \rightarrow el error (diferencia entre el valor deseado y el realmente existente),
- **de salida** \rightarrow variable de control sin embargo este tipo de controles no puede tener un tratamiento como bloque de un sistema lineal pues el control **on/off** no lo es.

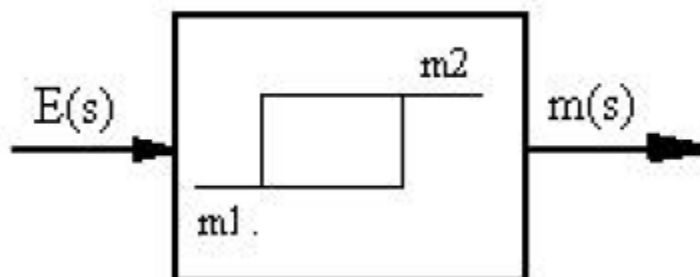


Figura 22.- Sistema de control ON-OFF

En la excursión ascendente del error la señal de control pasa a estado alto cuando $e > e1$ y en la excursión descendente de e la señal de control pasa a estado bajo cuando $e < e0$ la entonces como dijimos el intervalo $[e0, e1]$ se denomina brecha diferencial

Representado en el dominio del tiempo se puede observar en la figura 23.

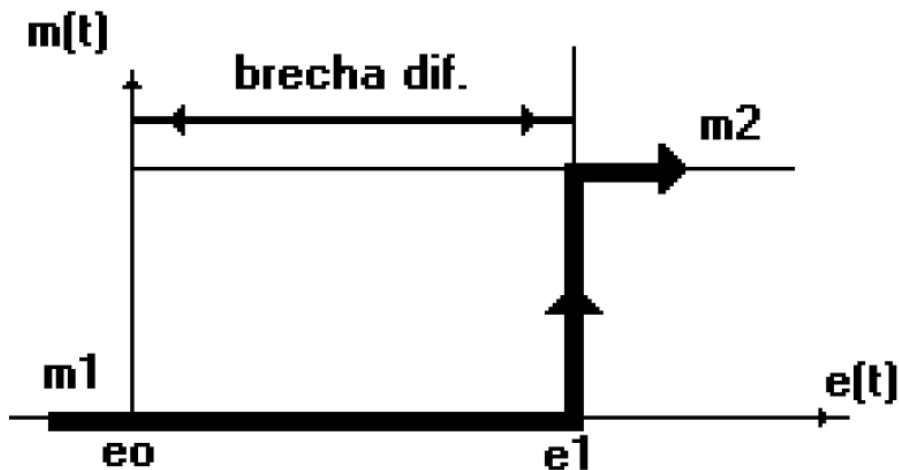


Figura 23.- Curva de sistema de control ON-OFF

5.2.3.2.2. Controlador de acción Proporcional (P)

En este regulador la señal de accionamiento es proporcional a la señal de error del sistema. Si la señal de error es grande, el valor de la variable regulada es grande y si la señal de error del sistema es pequeña, el valor de la variable regulada es pequeño.

Es el más simple de todos los tipos de control y consiste simplemente en amplificar la señal de error antes de aplicarla a la planta o proceso. La función de transferencia de este tipo de control se reduce a una variable real, denominada K_p que determinará el nivel de amplificación del elemento de control. Llamando $y(t)$ a la señal de salida (salida del regulador) y $e(t)$ a la señal de error (entrada al regulador), en un control proporcional tendremos: $y(t) = K_p e(t)$, y pasando al dominio de Laplace, tendremos $Y(S) = K_p * E(S)$.

La función de transferencia del bloque controlador (no la total del sistema), será:

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = K_p$$

, donde:

- $Y(S)$ es la salida del regulador o controlador
- $E(S)$ la señal de error
- K_p la ganancia del bloque de control

Teóricamente, en este tipo de controlador, si la señal de error es cero, la salida del controlador también será cero. La repuesta, en teoría es instantánea, con lo cual el tiempo no interviene en el control. Sin embargo, en la práctica, esto no es así, de forma que, si la variación de la señal de entrada es muy rápida, el controlador no puede seguir dicha variación y seguirá una trayectoria exponencial hasta alcanzar la salida deseada. Como se puede observar en la figura 24.

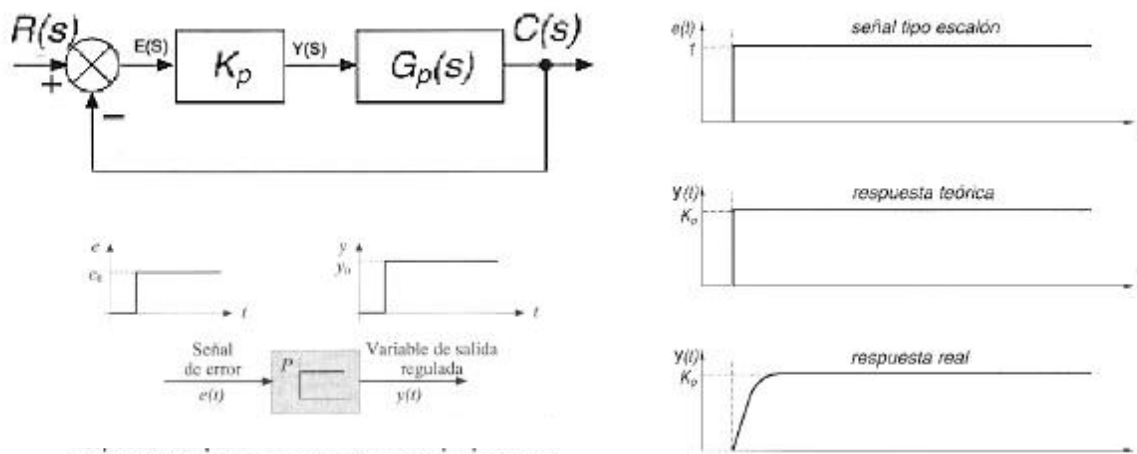


Figura 24.-Respuesta temporal de un controlador proporcional

Teniendo en cuenta la respuesta real de un regulador proporcional, se tienen los siguientes parámetros:

- **BP (Banda proporcional):** Es el tanto por ciento que tiene que variar la entrada al controlador para que se altere el 100% de la variable de salida.
- **K':** Es el valor de salida que proporciona el controlador cuando el error es del 0%. Normalmente se le da un valor del 50%.
- **Kp:** Es la **ganancia proporcional**, o sea, la razón entre el cambio en la salida (variable regulada) y el cambio en la entrada (señal de error). Determina la sensibilidad del controlador.
- **Kp:** 100/(BP)
- **y:** Es la salida en %.
- **M:** Medición.
- **PC:** Es el punto de consigna.

Las relaciones entre estos parámetros son:

$$y = K_p \cdot E + K'(\%)$$

$$E = (M - PC) \%$$

$$y = 100/(BP) \cdot E + 50(\%)$$

Si la ganancia proporcional es demasiado elevada el controlador provoca grandes cambios en el elemento actuador frente a ligeras desviaciones de la variable regulada. Si la ganancia proporcional es demasiado pequeña, la respuesta del controlador será demasiado débil y produciría una regulación no satisfactoria.

Una propiedad importante del regulador **P** es que como resultado de la rígida relación entre la señal de error del sistema y la variable regulada siempre queda alguna señal de error del sistema. El controlador **P** no puede compensar esta señal de error remanente (permanente) del sistema (señal de OFFSET).

5.2.3.2.3. Controlador de acción Integral (I)

En un controlador integral, la señal de salida del mismo varía en función de la desviación y del tiempo en que se mantiene la misma, o dicho de otra manera, el valor de la acción de control es proporcional a la integral de la señal de error. Esto implica que mientras que en la señal proporcional no influía el tiempo, sino que la salida únicamente variaba en función de las modificaciones de la señal de error, en este tipo de control la acción varía según la desviación de la salida y el tiempo durante el que esta desviación se mantiene.

La salida de este regulador es:

$$y(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

, donde:

y(t): Salida integral.

e(t): Error = diferencia entre medición y el PC (punto de consigna)

Analizando el sistema en el dominio de Laplace y teniendo en cuenta que la transformada de la

función integral es $\frac{1}{S}E(S)$ obtendremos la siguiente función $Y(S) = K_i \frac{E(S)}{S}$ y, por lo tanto, la función de transferencia del bloque de control integral es:

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = \frac{\check{K}_i}{S}$$

La respuesta en el tiempo, del bloque de control integral, ante una señal de tipo escalón se puede observar en la figura 25.

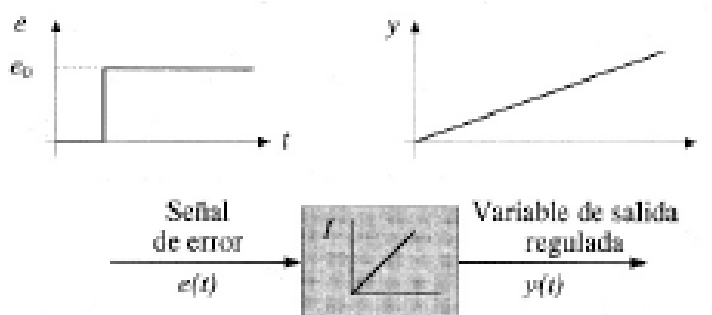


Figura 25.-Respuesta temporal de un controlador integral

La pendiente de la rampa de acción integral es **K_i**, lo que implica que la velocidad de respuesta del sistema de control dependerá del valor de **K_i**.

El problema principal del controlador integral radica en que la respuesta inicial es muy lenta, y hasta pasado un tiempo, el controlador no empieza a ser efectivo. Sin embargo elimina el error remanente que tenía el controlador proporcional.

5.2.3.2.4. Controlador de acción proporcional e integral (PI)

En la práctica no existen controladores que tengan sólo acción integral sino que llevan combinada una acción proporcional. Estas dos acciones se complementan. La primera en actuar es la acción proporcional (instantáneamente) mientras que la integral actúa durante un intervalo de tiempo. Así y por medio de la acción integral se elimina la desviación remanente (proporcional).

La salida del bloque de control PI responde a la ecuación:

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad \text{que también podemos expresar como} \quad y(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

, donde **K_p** y **T_i** son parámetros ajustables del sistema. A **T_i** se le denomina tiempo integral y controla la acción integral del sistema, mientras que **K_p** controla ambas. Si **T_i** es muy grande la pendiente de la rampa, correspondiente al efecto integral será pequeña y, por tanto, el efecto de esta acción suave, y viceversa. A **T_i** se le llama también tiempo de duplicación ya que es el tiempo que tarda la acción integral en igualar a la acción proporcional ante un error de tipo escalón.

Analizando el sistema en el dominio de Laplace:

$$Y(s) = K_p E(S) \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot S} \right)$$

, y la función de transferencia será:

$$\frac{Y(S)}{E(S)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot S} \right)$$

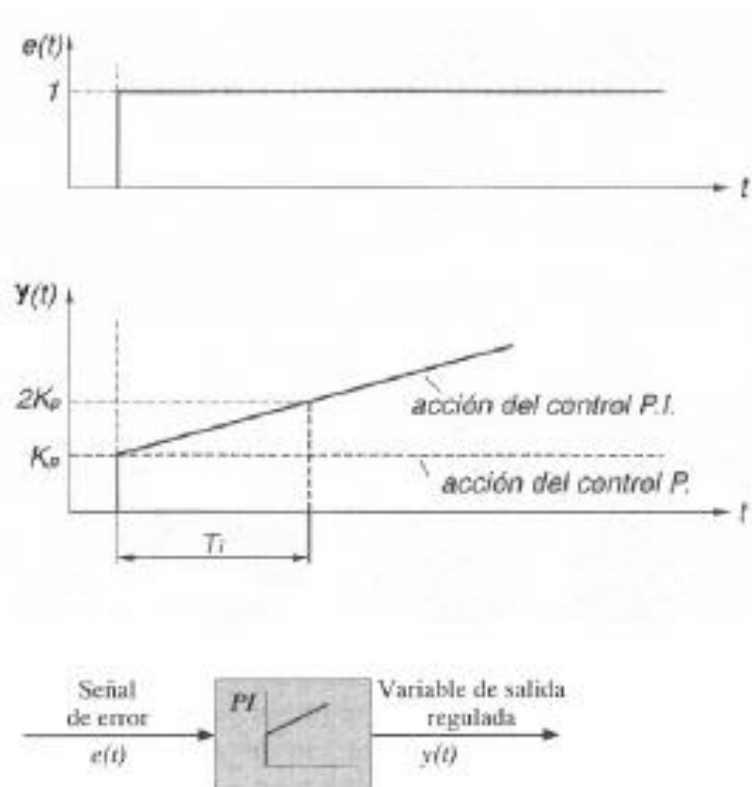


Figura 26.-Respuesta temporal de un controlador proporcional-integral

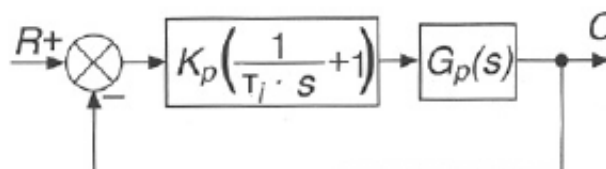


Figura 27.-Diagrama en bloques de un controlador PI

Como se observa en la figura 27, la respuesta del controlador **PI** es la suma de las respuestas de un controlador proporcional y un controlador integral lo que proporciona una respuesta instantánea al producirse la correspondiente señal de error provocada por el control proporcional y un posterior control integral que se encargará de extinguir totalmente la señal de error.

5.2.3.2.5. Controlador de acción proporcional y derivativa (PD)

Esta acción, al igual que la integral, no se emplea sola, sino que va unida a la acción proporcional (PD).

En el control proporcional y derivativo **PD**, la salida del bloque de control responde a la siguiente ecuación:

$$y(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \text{ que también podemos expresar como } y(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

, donde **K_p** y **T_d** son parámetros ajustables del sistema. A **T_d** se le denomina tiempo derivativo o de adelanto y controla la acción derivativa del sistema (es una medida de la rapidez con que compensa un controlador **PD** un cambio en la variable regulada, comparado con un controlador

P puro), mientras que K_p controla ambas acciones. A T_d se le llama también tiempo de duplicación ya que es el tiempo que tarda la acción proporcional en igualar el efecto de la acción derivativa ante una señal de error de tipo rampa.

Analizando el sistema en el dominio de Lapace:

$$Y(s) = K_p E(s)(1 + T_d s)$$

,y por tanto la función de transferencia del bloque de control **PD** es cero y, por tanto, en estos casos, el control derivativo no ejerce ningún efecto, siendo únicamente útil en los casos en los que la señal de error varía en el tiempo de forma continua.

$$\frac{Y(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s)$$

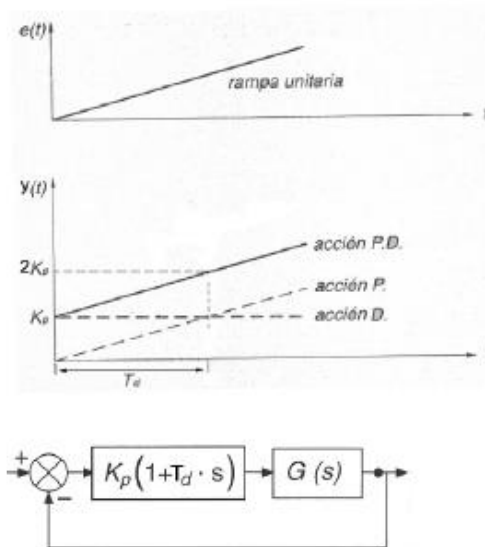


Figura 28.-Respuesta temporal de un controlador proporcional-derivativo

Por tanto, el análisis de este controlador ante una señal de error de tipo escalón no tiene sentido y, por ello, se ha representado la salida del controlador en función de una señal de entrada en forma de rampa unitaria.

Como se observa en la figura 28, la respuesta del controlador se anticipa a la propia señal de error, de ahí que al tiempo T_d se le denomine tiempo de anticipación o adelanto. Este tipo de controlador se utiliza en sistemas que deben actuar muy rápidamente, puesto que la salida está en continuo cambio. La acción derivativa por sí sola no se utiliza, puesto que para señales lentas, el error producido en la salida en régimen permanente es muy grande y si la señal de mando deja de actuar durante un tiempo largo la salida tenderá hacia cero y no se realizará entonces ningún control.

La utilidad de este tipo de controlador radica en aumentar la velocidad de respuesta de un sistema de control, ya que, como se comentó en los controladores proporcionales, aunque la velocidad de respuesta teórica de un controlador proporcional es instantánea, en la práctica no es así, pudiendo ser una rampa o una exponencial de una duración considerable.

Al incorporar a un controlador proporcional las características de un controlador derivativo, se mejora sustancialmente la velocidad de respuesta del sistema, a costa de una menor precisión en la salida (durante el intervalo de tiempo en que el control derivativo esté funcionando).

Un exceso en el dimensionado del control derivativo del controlador **PD** puede ser causa de inestabilidad en el sistema haciendo que la salida, ante variaciones bruscas no sea válida. Por ejemplo, si durante la conducción de un automóvil, de repente, se produce alguna situación anómala (como un obstáculo imprevisto en la carretera, u otro vehículo que invade parcialmente nuestra calzada), de forma involuntaria, el cerebro envía una respuesta casi instantánea a las piernas y brazos, de forma que se corrija velocidad y dirección de nuestro vehículo para sortear el obstáculo. Si el tiempo de actuación es muy corto, el cerebro tiene que actuar muy rápidamente (control derivativo) y, por tanto, la

precisión en la maniobra es muy escasa, lo que derivará a efectuar movimientos muy bruscos de forma oscilatoria. Estos movimientos bruscos pueden ser causa un accidente de tráfico. En este caso, el tiempo de respuesta y la experiencia en la conducción (ajuste del controlador derivativo) harán que el control derivativo producido por el cerebro del conductor sea o no efectivo.

El controlador **PD** se utiliza poco, debido a que no puede compensar completamente las desviaciones remanentes del sistema y si la componente **D** es un poco grande, lleva rápidamente a la inestabilidad del bucle de regulación.

5.2.3.2.6. Controlador de acción PID

Aprovecha las características de los tres reguladores anteriores, de forma, que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Tiene la ventaja de tener una respuesta más rápida y una inmediata compensación de la señal de error en el caso de cambios o perturbaciones. Tiene como desventaja que el bucle de regulación es más propenso a oscilar y los ajustes son más difíciles de realizar.

La salida del regulador viene dada por la siguiente ecuación:

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

, que podemos expresar como:

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

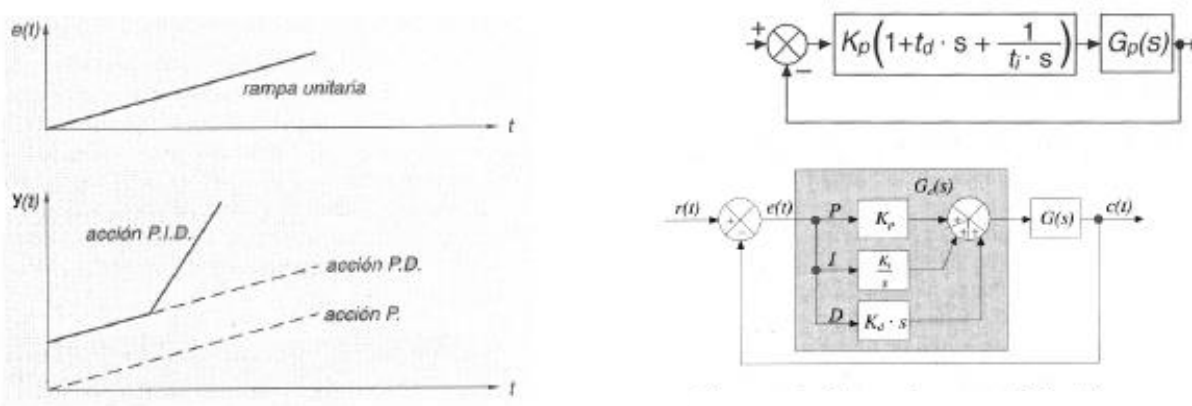
, donde **K_p**, **T_i** y **T_d** son parámetros ajustables del sistema

En el dominio de Laplace:

$$Y(s) = K_p E(s) \cdot \left(1 + T_d \cdot s + \frac{1}{T_i \cdot s} \right)$$

La función de transferencia será: $\frac{Y(S)}{E(S)} = K_p \cdot \left(1 + T_d \cdot S + \frac{1}{T_i \cdot S} \right)$

La respuesta en el tiempo de este bloque se muestra en la figura siguiente:



$$K_i = K_p / T_i \quad K_d = K_p \cdot T_d$$

Figura 29.-Respuesta temporal de un controlador proporcional-integral-derivativo.

5.3. Teoría de control de motores de continua (drivers)

5.3.1. Introducción

A continuación se va a detallar los principios de funcionamiento empleados por los drives para poder regular la velocidad del motor, así como el control del par, etc. Todos estos conceptos son fundamentados a través de las ecuaciones teóricas del modelo del motor de continua, vistas anteriormente.

El voltaje de armadura se puede variar mediante cambios en la corriente de campo en el generador de cc, éste voltaje de armadura permite que la velocidad del motor pueda variarse suavemente entre un valor muy pequeño y la velocidad base. La velocidad del motor puede ajustarse por encima de la velocidad base reduciendo la corriente de campo del motor, por eso es que este sistema es tan flexible que permite control total de la velocidad del motor. Además permite también el cambio del sentido de rotación, solamente cambiando la polaridad del voltaje de armadura, así es posible obtener un rango muy amplio de variación de la velocidad en cualquier sentido de rotación. Otra función es la de “regenerar” o retornar a las líneas de alimentación la energía de movimiento de las máquinas.

5.3.2. Principio general

5.3.2.1. Introducción

Los variadores de velocidad con semiconductores permiten efectuar de manera estática las operaciones de control de motores y con mejores prestaciones que otros métodos. Los variadores de velocidad electrónicos se alimentan con una tensión fija a partir de una red de corriente alterna y proporcionan al motor una tensión continua variable. Un puente de diodos o un puente a tiristores, generalmente monofásico, permite alimentar el circuito de excitación. El circuito de potencia es un rectificador.

Puesto que la tensión a suministrar ha de ser variable, este rectificador debe de ser de tipo controlado, es decir, tener componentes de potencia cuya conducción pueda ser controlada (tiristores). La variación de la tensión de salida se obtiene limitando más o menos el tiempo de conducción durante cada semiperíodo. Cuanto más se retarda el encendido del tiristor respecto al cero de la semionda, más se reduce el valor medio de la tensión y por tanto también la velocidad del motor (recordemos que la excitación de un tiristor se corta automáticamente cuando la corriente pasa por cero).

Para los variadores de baja potencia, o los variadores alimentados por una batería de acumuladores, el circuito de potencia, a veces constituido por transistores (chopper), hace variar la tensión continua de salida ajustando el tiempo de conducción. Este modo de funcionamiento se denomina PWM (Pulse Width Modulation = Modulación por Ancho de Impulso).

5.3.2.2. La regulación

La regulación consiste en mantener con precisión la velocidad en el valor exigido a pesar de las perturbaciones (variación del par resistente, de la tensión de alimentación, de la temperatura). Sin embargo, durante las aceleraciones o en caso de sobrecarga, la intensidad de corriente no debe alcanzar un valor peligroso para el motor o para el dispositivo de alimentación. Un bucle de regulación interno del variador mantiene la corriente en un valor aceptable. Este valor se puede regular para permitir el ajuste en función de las características del motor.

La velocidad de referencia se fija mediante una señal, analógica o digital, transmitida mediante un bus de terreno o cualquier otro dispositivo que proporcione una tensión imagen de esta velocidad deseada. La referencia puede ser fija o variar durante el curso del ciclo.

Estas rampas de aceleración y deceleración regulables aplican, de manera progresiva, la tensión de referencia correspondiente a la velocidad deseada; la evolución de esta rampa puede seguir todas las formas deseables. El ajuste de las rampas define la duración de la aceleración y de la deceleración. En bucle cerrado, la velocidad real se mide permanentemente mediante un dinamo tacométrico o un generador de impulsos y se compara con la referencia. Si se constata una desviación, la electrónica de control realiza una corrección de la velocidad. La gama de velocidad se puede extender desde algunas vueltas por minuto hasta la velocidad máxima.

En esta horquilla de variación, se obtienen fácilmente precisiones mejores que 1% con regulación analógica y mejores del 1/1000 con regulación digital, teniendo presentes todas las variaciones posibles (vacío/carga, variación de tensión, de temperatura, etcétera).

Esta regulación puede también efectuarse a partir de la medida de la tensión del motor, teniendo en cuenta la corriente que lo atraviesa.

Las prestaciones son en este caso sensiblemente inferiores, tanto en cuanto a margen de velocidad como en precisión (algunos % entre marcha en vacío y marcha en carga).

5.3.2.3. Inversión del sentido de giro y frenado por recuperación

Para invertir el sentido de marcha, hay que invertir la tensión de inducido. Esto puede realizarse mediante contactores (esta solución es actualmente obsoleta) o, con semiconductores, por inversión de la polaridad de salida de los variadores de velocidad o de la polaridad de la corriente de excitación. Esta última solución se utiliza poco debido a la constante de tiempo del inductor. Cuando se desea tener un frenado controlado o cuando la naturaleza de la carga lo impone (par mantenido), hay que reenviar la energía a la red.

Durante el frenado, el variador funciona como ondulator; en otras palabras, la potencia que transmite es negativa. Los variadores capaces de efectuar estas dos funciones (inversión y frenado por recuperación de energía) están dotados de dos puentes conectados en anti paralelo (figura 30).

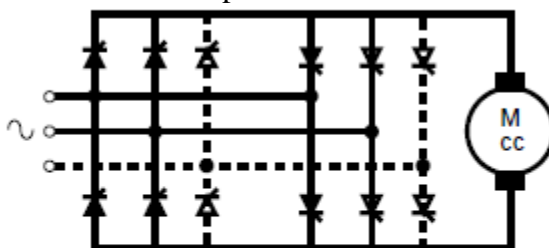


Figura 30.-Esquema de un variador con inversor de marcha y con frenado por recuperación de energía para un motor de CC.

Cada uno de estos puentes permite invertir la tensión y la corriente así como el signo de la energía que circula entre la red y la carga.

5.3.3. Principales funciones de los drivers

- **Aceleración controlada**

La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración lineal o en «S».

Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

- **Variación de velocidad**

Un variador de velocidad no puede ser al mismo tiempo un regulador. En este caso, es un sistema, rudimentario, que posee un mando controlado mediante las magnitudes eléctricas del motor con amplificación de potencia, pero sin bucle de realimentación: es lo que se llama “en bucle abierto”.

La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura).

El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

- **Regulación de velocidad**

Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado (figura 36). Posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, “bucle abierto”.

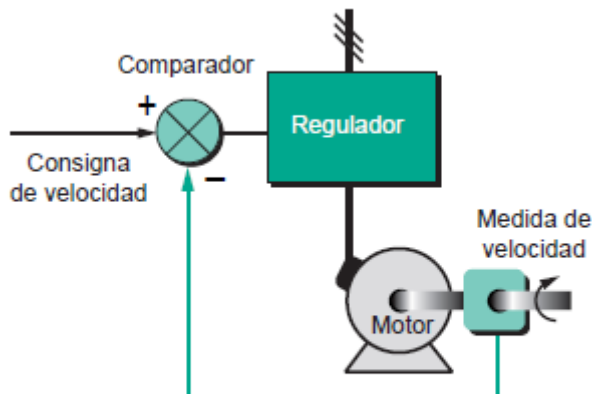


Figura 36.-Principio de funcionamiento de la regulación de velocidad

La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia. El valor de la consigna se compara permanentemente con la señal de alimentación, imagen de la velocidad del motor. Esta señal la suministra un generador tacométrico o un generador de impulsos colocado en un extremo del eje del motor.

Si se detecta una desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial.

Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

La precisión de un regulador se expresa generalmente en % del valor nominal de la magnitud a regular.

• **Deceleración controlada**

Cuando se desconecta un motor, su deceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (deceleración natural).

Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la deceleración mediante una rampa lineal o en “S”, generalmente independiente de la rampa de aceleración.

Esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula:

- Si la desaceleración deseada es más rápida que la natural, el motor debe de desarrollar un par resistente que se debe de sumar al par resistente de la máquina; se habla entonces de frenado eléctrico, que puede efectuarse reenviando energía a la red de alimentación, o disipándola en una resistencia de frenado.
- Si la deceleración deseada es más lenta que la natural, el motor debe desarrollar un par motor superior al par resistente de la máquina y continuar arrastrando la carga hasta su parada.

• **Inversión del sentido de giro**

La mayoría de los variadores actuales tienen implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida a mediante una red.

• **Frenado**

Este frenado consiste en parar un motor pero sin controlar la rampa de desaceleración. Con los arrancadores y variadores de velocidad para motores asíncronos, esta función se realiza de forma económica inyectando una corriente continua en el motor, haciendo funcionar de forma especial la etapa de potencia. Toda la energía mecánica se disipa en el rotor de la máquina y, por tanto, este frenado sólo puede ser intermitente. En el caso de un variador para motor de corriente continua, esta función se realiza conectando una resistencia en bornes del inducido.

5.3.4. Estructura de los drives

Los variadores de velocidad electrónicos se componen de dos módulos generalmente montados en una misma envolvente:

- un módulo de control que controla el funcionamiento del aparato;
- un módulo de potencia que alimenta el motor con energía eléctrica;

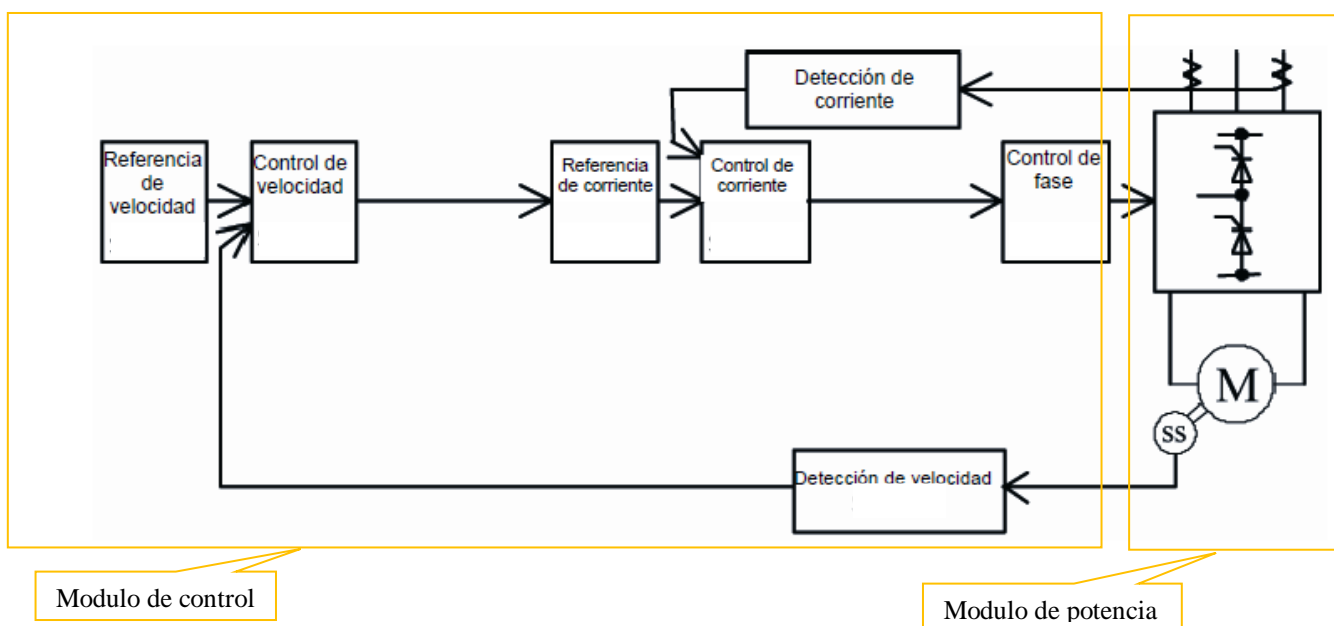


Figura 32.-Estructura de un drive para motor de CC.

5.3.4.1. El módulo de control

En los arrancadores y variadores modernos, todas las funciones se controlan mediante un microprocesador que gestiona la configuración, las órdenes transmitidas por un operador o por una unidad de proceso y los datos proporcionados por las medidas como la velocidad, la corriente, etc. Las capacidades de cálculo de los microprocesadores, así como de los circuitos dedicados (ASIC) han permitido diseñar algoritmos de mando con excelentes prestaciones y, en particular, el reconocimiento de los parámetros de la máquina arrastrada. A partir de estas informaciones, el microprocesador gestiona las rampas de aceleración y deceleración, el control de la velocidad y la limitación de corriente, generando las señales de control de los componentes de potencia. Las protecciones y la seguridad son procesadas por circuitos especializados (ASIC) o están integradas en los módulos de potencia (IPM).

Los límites de velocidad, las rampas, los límites de corriente y otros datos de configuración, se definen usando un teclado integrado o mediante PLC (sobre buses de campo) o mediante PC.

Del mismo modo, los diferentes comandos (marcha, parada, frenado...) pueden proporcionarse desde interfaces de diálogo hombre/máquina, utilizando autómatas programables o PC.

Los parámetros de funcionamiento y las informaciones de alarma, y los defectos pueden verse mediante displays, diodos LED, visualizadores de segmentos o de cristal líquido o pueden enviarse hacia la supervisión mediante un bus de terreno.

Los relés, frecuentemente programables, proporcionan información de:

- fallos (de red, térmicos, de producto, de secuencia, de sobrecarga),
- vigilancia (umbral de velocidad, prealarma, final de arranque).

Las tensiones necesarias para el conjunto de circuitos de medida y de control son proporcionadas por una alimentación integrada en el variador y separadas galvánicamente de la red.

5.3.4.2. El módulo de potencia

El módulo de potencia está principalmente constituido por:

- componentes de potencia (diodos, tiristores, IGBT, etc.);
- interfaces de medida de las tensiones y/o corrientes,
- frecuentemente de un sistema de ventilación.

Los componentes de potencia son semiconductores que funcionan en “todo o nada”, los mismos pueden ser comparables, a los interruptores estáticos que pueden tomar dos estados: abierto o cerrado. Estos componentes, integrados en un módulo de potencia, constituyen un convertidor que alimenta, a partir de la red a tensión y frecuencia fijas, un motor eléctrico con una tensión y/o frecuencia variables. Los componentes de potencia son la clave de la variación de velocidad y los progresos realizados estos últimos años han permitido la fabricación de variadores de velocidad económicos.

El tiristor, es un semiconductor controlado constituido por cuatro capas alternadas: PNPN.

Se comporta como un diodo al enviar un impulso eléctrico a un electrodo de mando llamado “puerta” o “gate”. Este cierre (o encendido) no es posible si el ánodo está a una tensión más positiva que el cátodo.

El tiristor se bloquea cuando la corriente que lo atraviesa se anula.

La energía para el encendido o conducción que hay que suministrar a la puerta no depende de la corriente a controlar. Además, no es necesario mantener corriente en la puerta durante la conducción del tiristor.

El tiristor posee las siguientes características principales:

- en estado de conducción:
- una caída de tensión compuesta de una tensión de umbral y de una resistencia interna,
- una corriente máxima permanente admisible (orden de magnitud, hasta 5000 A rms para los componentes de mayor potencia).
- en estado de bloqueo:
- una tensión inversa y directa máxima admisible, (que puede sobrepasar 5000 V de pico). En general las tensiones directas e inversas son iguales,
- un tiempo de recuperación, que es el tiempo mínimo durante el cual no se puede aplicar una tensión positiva ánodo-cátodo so pena de que se produzca un re-encendido espontáneo,
- una corriente de puerta que permite la conducción del componente.

Hay tiristores para funcionar a la frecuencia de red y otros, llamados “rápidos”, que pueden funcionar a algunos kHz, utilizando un circuito de extinción.

Los tiristores rápidos tienen a veces las tensiones de bloqueo directo e inverso asimétricas. En efecto, en los esquemas normales, están generalmente unidos a un diodo conectado en antiparalelo y los fabricantes de semiconductores utilizan esta particularidad para aumentar la tensión directa que el componente puede soportar en estado de bloqueo. Actualmente, estos componentes han sido sustituidos por el GTO, los transistores de potencia y sobre todo los IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

5.3.5. Modos de funcionamiento posibles

5.3.5.1. Funcionamiento llamado a “par constante”

Con excitación constante, la velocidad del motor es función de la tensión aplicada al inducido del motor. La variación de velocidad es posible desde el paro hasta la tensión nominal del motor que se escogen en función de la tensión alterna de alimentación.

El par motor es proporcional a la corriente de inducido y el par nominal de la máquina puede obtenerse de forma continua a cualquier velocidad.

5.3.5.2. Funcionamiento llamado a “potencia constante”

Cuando la máquina se alimenta a tensión nominal, es posible todavía aumentar su velocidad, reduciendo la corriente de excitación. En este caso, el variador de velocidad debe de tener un puente rectificador controlando que alimente el circuito de excitación. La tensión de inducido se mantiene entonces fija e igual a la tensión nominal y la corriente de excitación se ajusta para obtener la velocidad deseada.

La expresión de la potencia es:

$$P = E \cdot I$$

, siendo:

- E= su tensión de alimentación,
- I= la corriente de inducido.

Por tanto, la potencia, para una corriente de inducido dada, es constante en toda la gama de velocidad, pero la velocidad máxima queda limitada por dos parámetros:

- el límite mecánico ligado al inducido y, en particular, la fuerza centrífuga máxima que puede soportar el colector,
- las posibilidades de conmutación de la máquina, en general más restrictivas.

Por consiguiente, para escoger un motor adecuadamente, hay que solicitar la información del fabricante, en especial en cuanto a su gama de velocidad a potencia constante.

5.4. Teoría de controladores lógicos programables (PLC)

5.4.1. Introducción

Las señales del campo (sensores, comandos del operador, etc.), son enviadas y analizadas por el PLC de la grúa, por lo que es de gran interés poder conocer las características del mismo.

Un autómata programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Entre las ventajas tenemos:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.

- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Y entre los inconvenientes:

- Adiestramiento de técnicos.
- Costo.

Un PLC o Autómata Programable posee las herramientas necesarias, tanto de software como de hardware, para controlar dispositivos externos, recibir señales de sensores y tomar decisiones de acuerdo a un programa que el usuario elabore según el esquema del proceso a controlar.

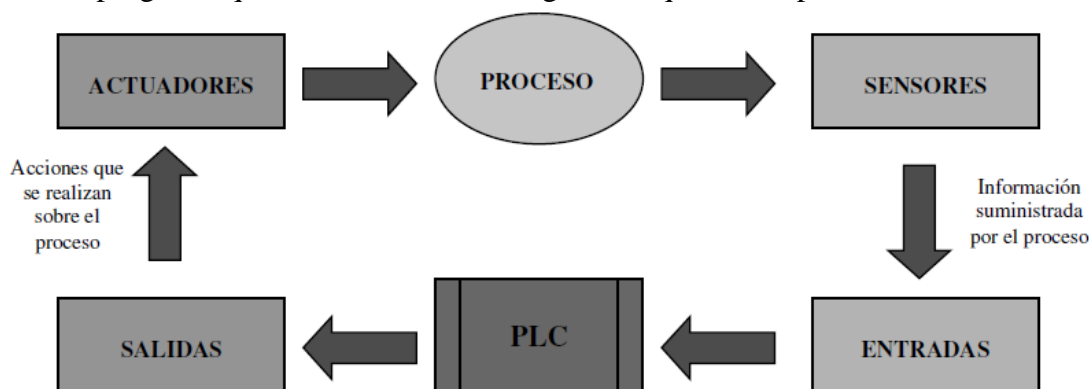


Figura 33.- Arquitectura de un Autómata Programable

Bloques principales del PLC

- CPU
- Bloque de entrada
- Bloque de salida

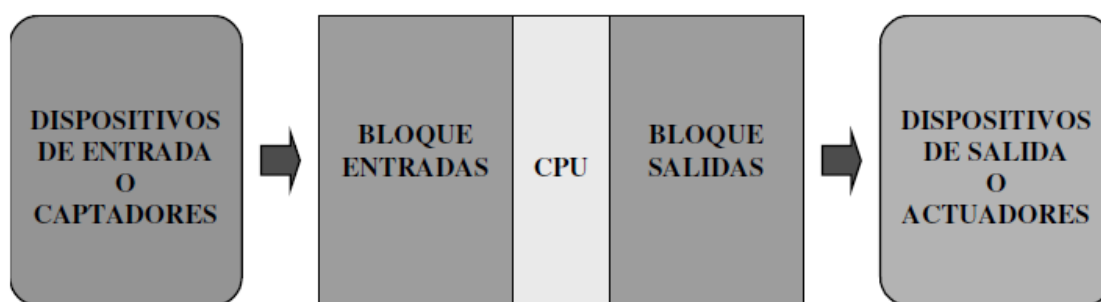


Figura 34.- Diagrama en bloques de un Autómata Programable

5.4.2. Clasificación de PLC

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en el número de I/O, en su tamaño de memoria, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

5.4.2.1. PLC tipo Nano

Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.

5.4.2.2. PLC tipo Compactos

Estos PLC tienen incorporado la Fuente de Alimentación, su CPU y módulos de I/O en un solo módulo principal y permiten manejar desde unas pocas I/O hasta varios cientos (alrededor de 500 I/O), su tamaño es superior a los Nano PLC y soportan una gran variedad de módulos especiales, tales como:

- entradas y salidas análogas
- módulos contadores rápidos
- módulos de comunicaciones
- interfaces de operador
- expansiones de i/o

5.4.2.3. PLC tipo Modular

Estos PLC se componen de un conjunto de elementos que conforman el controlador final, estos son:

- Rack
- Fuente de Alimentación
- CPU
- Módulos de I/O
- Comunicaciones.
- Contaje rápido.

5.4.2.4. Funciones especiales

De estos tipos existen desde los denominados MicroPLC que soportan gran cantidad de I/O, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de I/O.

5.4.3. Bloques necesarios para el funcionamiento del PLC

Los Bloques necesarios para el funcionamiento de un PLC son:

- Fuente de alimentación
- Consola de programación
- Periféricos

- Interfaces

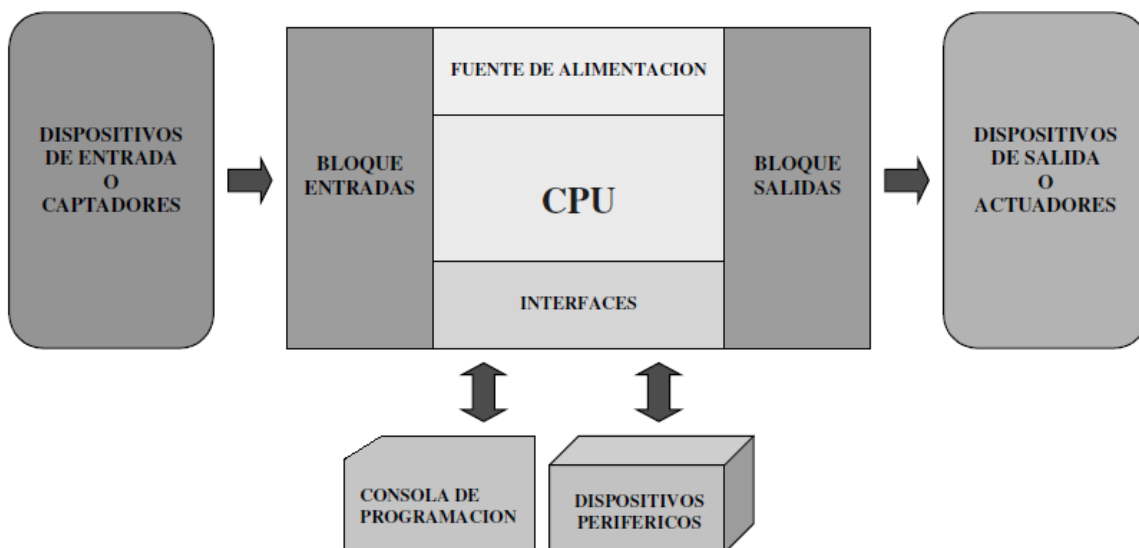


Figura 35.- Bloques necesarios para el funcionamiento de un PLC

5.4.3.1. CPU

La Unidad Central de Procesos es el cerebro del sistema. En ella se ejecuta el programa de control del proceso, el cual fue cargado por medio de la consola de programación, lee las entradas. Y posteriormente procesa esta información para enviar respuestas al módulo de salidas. En su memoria se encuentra residente el programa destinado a controlar el proceso.

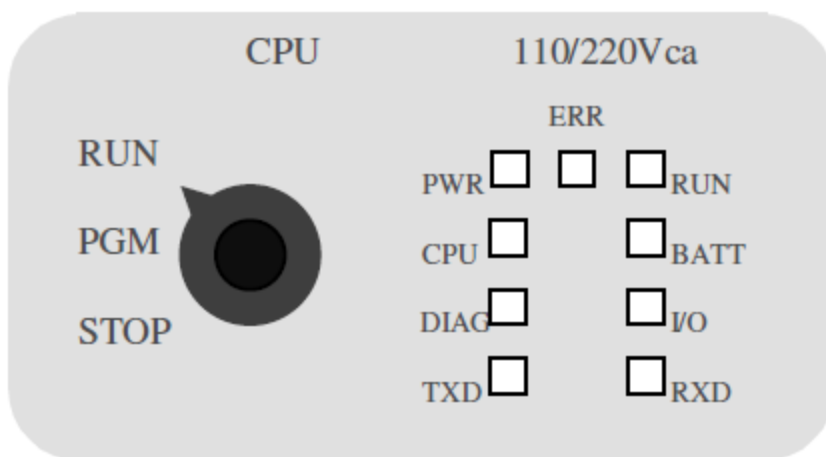


Figura 36.- Indicadores y selectores de modo de operación de la CPU

Selección del modo de operación:

- **RUN:** En esta posición, el PLC empieza a ejecutar el programa
- **STOP:** Esta posición detiene el proceso que se esté ejecutando.
- **PROGRAM:** En esta posición, el PLC permite ser programado desde algún dispositivo externo

Funciones de las Indicaciones Lumínicas:

- **PWR:** Muestra el estado de la fuente de alimentación.
- **RUN:** Indica que la CPU del PLC se encuentra en modo RUN
- **CPU:** La CPU hace diagnóstico de su estado de funcionamiento en forma automática.
- **ERR:** Señal que hubo un error durante la ejecución del programa. El error puede ser de programa o de funcionamiento del hardware del PLC.

- **BATT:** Indica el estado actual de la batería de respaldo de la fuente de alimentación.
- **I/O:** Esta luz sirve para indicar el estado de los módulos de entrada y salida.
- **DIAG:** Los autómatas pueden tener un sistema de diagnóstico propio.
- **TXD:** Es el indicador de transmisión de datos por los puertos de comunicaciones.
- **RDX:** Es el indicador de recepción de datos por los puertos de comunicaciones.

Voltaje de entrada	Oscila entre: 100VCA - 240VCA
Voltaje de salida	Oscila entre: 12VDC - 24VDC
Corriente de salida	1A - 3A
Frecuencia de operación	50Hz ó 60Hz
Protecciones	Sobrecorrientes y sobrevoltajes

5.4.3.2. Fuente de alimentación

A partir de una tensión exterior proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del autómata, además posee una batería para mantener el programa y algunos datos en la memoria si hubiera un corte de la tensión exterior.

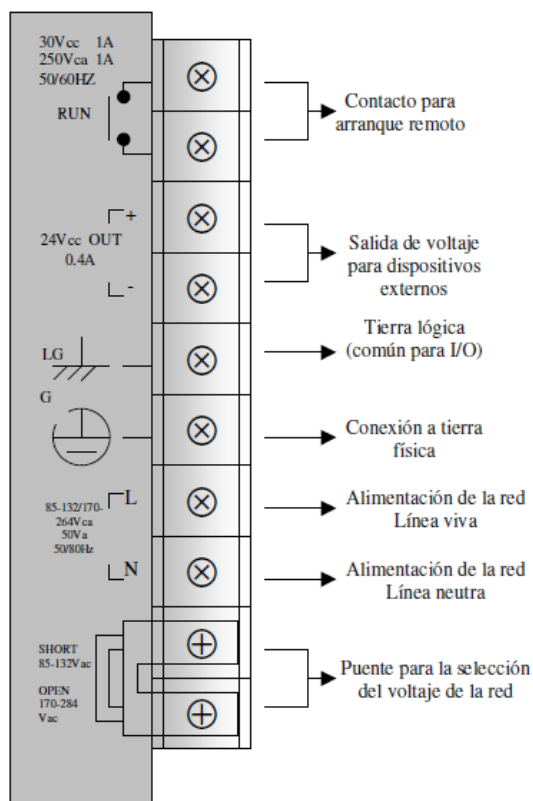


Figura 37.- Fuente de alimentación de un PLC

5.4.3.3. Bloque de entradas

Adapta y codifica de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores.

- **Captadores Pasivos:** son aquellos que cambian su estado lógico, activado - no activado, por medio de una acción mecánica. Estos son los Interruptores, pulsadores, finales de carrera, etc.

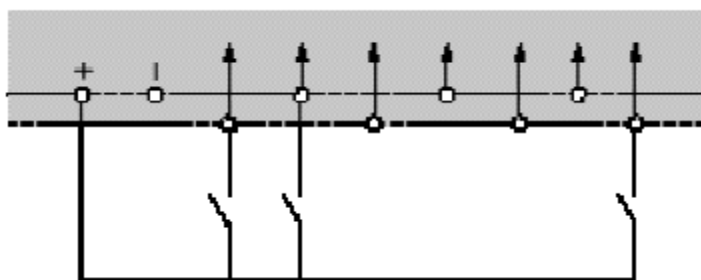


Figura 38.- Esquemático de entradas digitales

- **Captadores Activos:** son dispositivos electrónicos que necesitan ser alimentados por una tensión para que varíen su estado lógico. Este es el caso de los diferentes tipos de detectores (Inductivos, Capacitivos, Fotoeléctricos). Muchos de estos aparatos pueden ser alimentados por la propia fuente de alimentación del autómata.

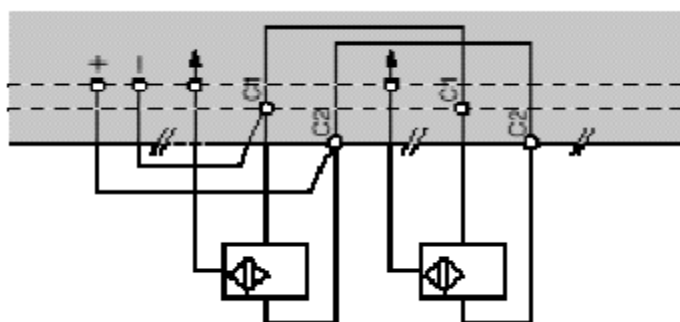


Figura 39.- Esquemático de salidas digitales

Se puede utilizar como captadores contactos eléctricamente abiertos o eléctricamente cerrados dependiendo de su función en el circuito.

5.4.3.4. Bloque de salidas

Decodifica las señales procedentes de la CPU, las amplifica y las envía a los dispositivos de salida o actuadores, como lámparas, relés, contactores, arrancadores, electroválvulas, etc.

- **Módulos de salidas a Relés**

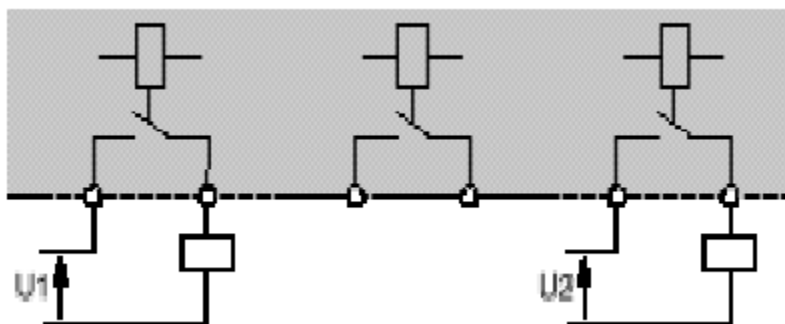


Figura 40.- Esquemático de salidas digitales a rele

- **Módulos de salidas a Triacs**

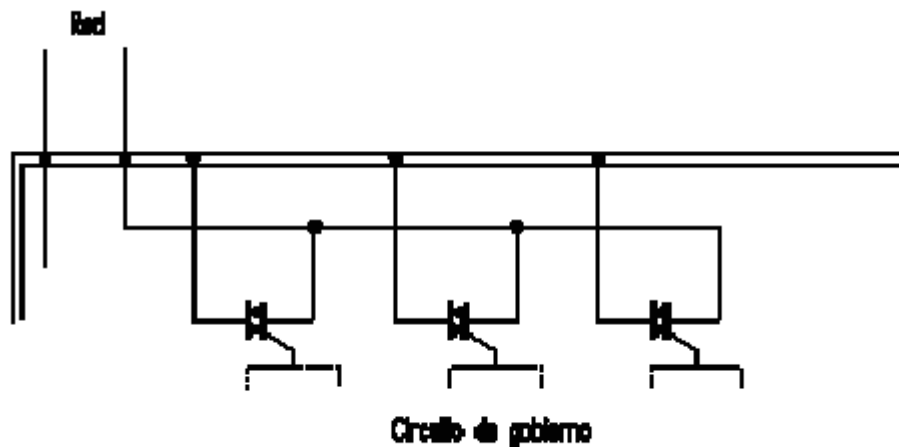


Figura 41.- Esquemático de salidas digitales a triac

- Módulos de salidas a Transistores a colector abierto

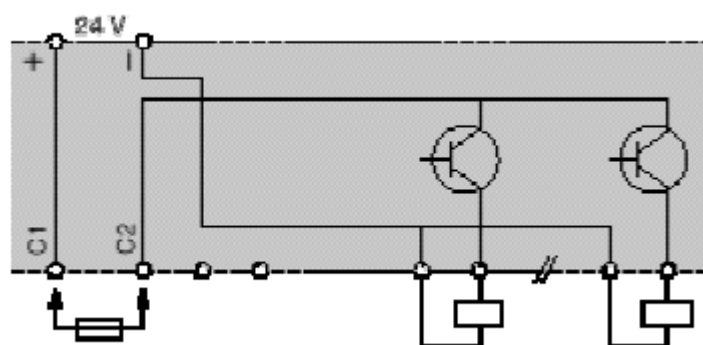


Figura 42.- Esquemático de salidas digitales a transistor

5.4.3.5. Módulos de E/S analógicos

Son módulos especiales que se clasifican en:

- BCD Entradas y Salidas
- Entradas de Termocuplas
- Entradas de Termorresistencias (PT-100)
- Salidas a Display
- Memoria de Datos

5.4.4. Densidad de Modulo

Esta dado por el numero de E/S de cada modulo. Pueden ser de: 4, 8, 16 o 32

Un modulo de 16 E/S se puede dividir en 2 de 8.

Cada grupo dispone de un solo borne de referencia o común.

Las salidas tienen un fusible de protección

Las borneras son móviles, se desmontan sin tener que desconectar los cables evitando cometer errores.

- **Expansión Local:** Se expanden las E/S por el Bus Paralelo

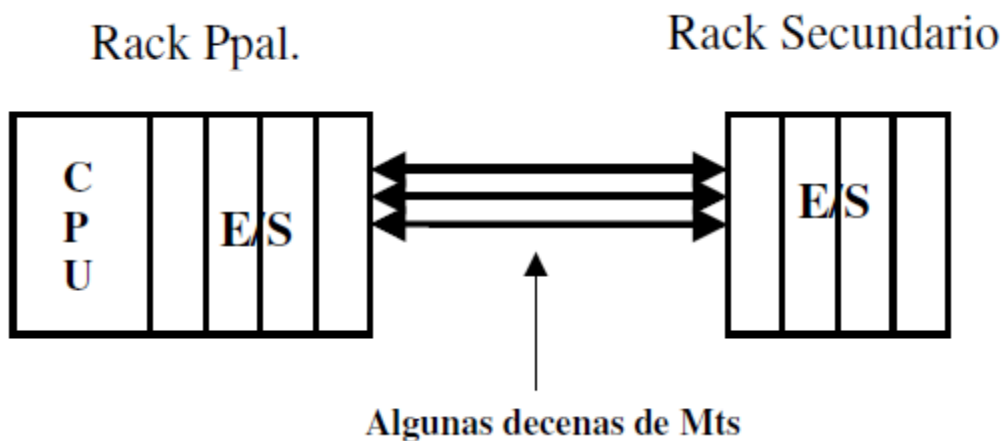


Figura 43.- Esquemático de conexionado de un rack secundario

- **Expansión Remota:** Se utilizan procesadores de comunicaciones especiales, uno en cada chasis de expansión

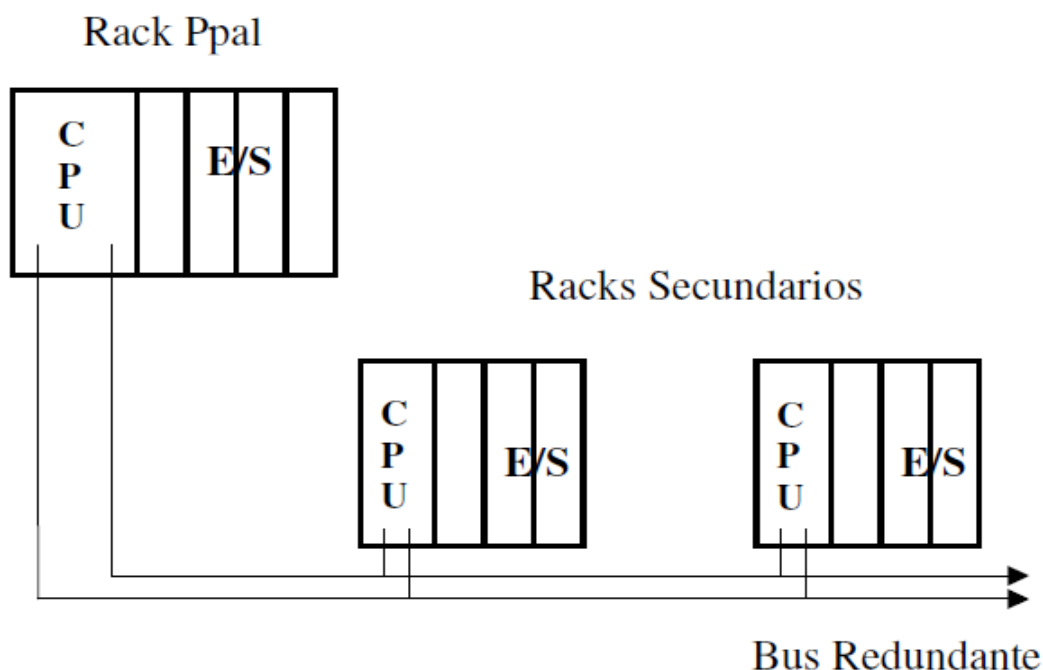


Figura 44.- Esquemático de conexionado de varios racks secundarios

Los medios físicos a utilizar pueden ser un cable coaxial, Fibra Óptica o UTP. Esto implica un ahorro substancial en el cableado, ya que todas las señales viajan por un solo cable.

Pero debido a la vulnerabilidad de utilizar solo un camino de comunicación, se emplean cableados redundantes.

5.4.5. Lenguajes de programación

Los lenguajes de programación permiten al usuario generar rutinas o secuencias, que una máquina pueda entender y ejecutar de manera automática.

Los programas son un conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el autómata que le permiten ejecutar la secuencia de control deseada.

Para que un PLC pueda realizar algún proceso industrial se debe introducir un programa que tenga todas las instrucciones que debe seguir para ejecutar una labor específica.

Tipo	Lenguajes de Programación
Algebraicos	Lenguajes Booleanos
	Lista de Instrucciones (IL ó AWL)
	Lenguajes de Alto Nivel (Texto estructurado)
Gráficos	Diagrama de contactos (Ladder)
	Plano de funciones (Símbolos lógicos)
	Intérprete GRAFCET

5.4.6.1. Protocolos de comunicaciones industriales

5.4.6.3.1. Introducción

Muchas veces escuchamos en la industria la palabra protocolos de comunicación sin tener claro de que estamos hablando. En principio un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos entre los distintos dispositivos que conforman una red. Estos han tenido un proceso de evolución gradual a medida que la tecnología electrónica ha avanzado y muy en especial en lo que se refiere a los microprocesadores.

Un importante número de empresas en nuestro país presentan la existencia de islas automatizadas (células de trabajo sin comunicación entre sí), siendo en estos casos las redes y los protocolos de comunicación Industrial indispensables para realizar un enlace entre las distintas etapas que conforman el proceso.

La irrupción de los microprocesadores en la industria ha posibilitado su integración a redes de comunicación con importantes ventajas, entre las cuales figuran:

- Mayor precisión derivada de la integración de tecnología digital en las mediciones
- Mayor y mejor disponibilidad de información de los dispositivos de campo
- Diagnóstico remoto de componentes

La integración de las mencionadas islas automatizadas suele hacerse dividiendo las tareas entre grupos de procesadores jerárquicamente anidados. Esto da lugar a una estructura de redes Industriales, las cuales es posible agrupar en tres categorías:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes LAN-WAN

En esta oportunidad nos referiremos a los protocolos de comunicación más usados en la industria. Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo.

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción.

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

Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal.

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

- HART
- Profibus
- Fieldbus Foundation

5.4.6.3.2. FOUNDATION FIELDBUS

Es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Los dispositivos de campo son alimentados a través del bus Fieldbus cuando la potencia requerida para el funcionamiento lo permite. Otros protocolos ampliamente usados aunque de menor alcance son:

- Modbus
- DeviceNet
- Genius

5.4.6.3.3. MODBUS

Modbus es un protocolo de transmisión para sistemas de control y supervisión de procesos (SCADA) con control centralizado, puede comunicarse con una o varias Estaciones Remotas (RTU) con la finalidad de obtener datos de campo para la supervisión y control de un proceso. La Interfaces de Capa Física puede estar configurada en: RS-232, RS-422, RS-485. Ver características en tabla N° 1

En Modbus los datos pueden intercambiarse en dos modos de transmisión:

- Modo RTU
- Modo ASCII

5.4.6.3.4. Esquema de la red de control “Genius”

Es una red de estructura de “guirnalda”, con sus correspondientes resistencias de fin de línea (75ohms) fundamentales para su correcto funcionamiento. Los drops o nodos se conectan a través de los cabezales o unidades de interfaz con el bus (IC670GBI102C).

La red se conecta de la siguiente manera:

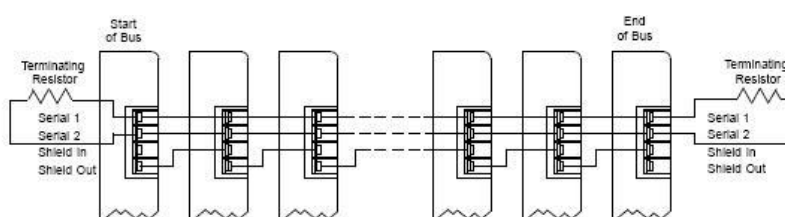
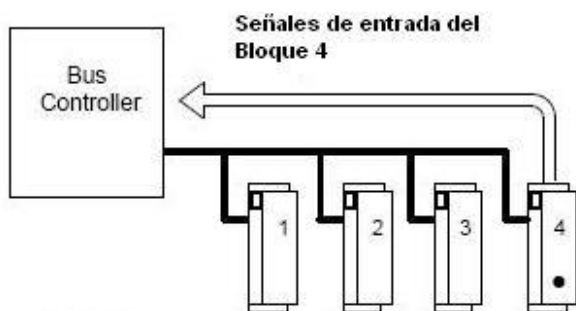


Figura 47.- Esquema conexionado red Genius

La red se comunica con los diferentes dispositivos de la siguiente manera:

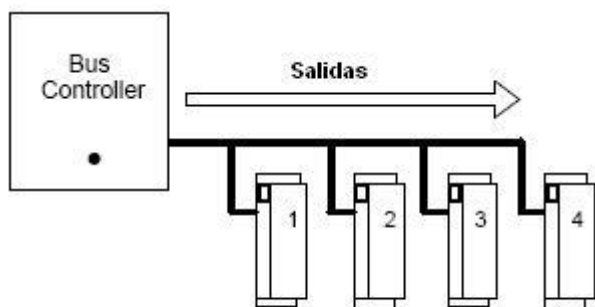
• Entradas



Un módulo Genius I/O, monitorea continuamente los datos de sus entradas y los actualiza. Cuando el módulo recibe la señal del bus, emite todos los datos de sus entradas. El controlador del bus almacena estos datos y poniéndolos a disposición de la CPU del PLC. Incluso cuando el módulo no posee ninguna entrada activa, transmite un mensaje cuando consiguen la señal del bus, para notificar al controlador del bus que están presentes y en línea.

consiguen la señal del bus, para notificar al controlador del bus que están presentes y en línea.

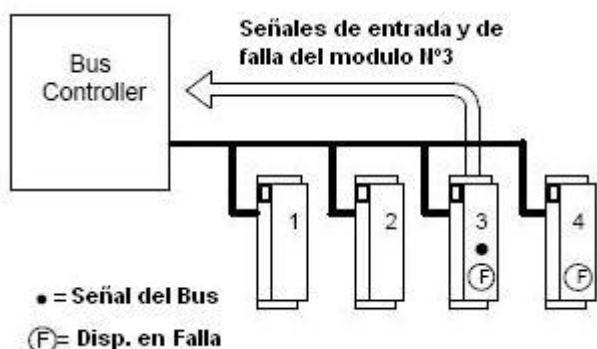
• Salidas



Cuando el programa de aplicación se ejecuta, la CPU envía las salidas y los comandos al controlador del bus. El controlador del bus almacena estos datos hasta que reciba la señal del bus. A continuación, dirige los datos de salida a cada uno de los bloques en el bus, y los comanda a los dispositivos pertinentes. Incluso los bloques que no tienen salidas, reciben un mensaje nulo desde el controlador del bus, mientras que reciban la señal del bus. Esto permite a los bloques indicar que están en línea con la CPU, y para detectar las pérdidas en las comunicaciones.

mensaje nulo desde el controlador del bus, mientras que reciban la señal del bus. Esto permite a los bloques indicar que están en línea con la CPU, y para detectar las pérdidas en las comunicaciones.

• Diagnóstico



Si un módulo detecta un fallo, sucede lo siguiente:

1. El Led "OK" del módulo, parpadea, para indicar que existe una falla.
2. A menos que las características de las fallas presentadas, son deshabilitadas para el circuito en el que se produce la falla, por lo que el módulo envía automáticamente un mensaje de error en el controlador del bus y / o en el

monitoreo de CPU en el próximo escaneo del bus. Esta información de las fallas, esta siempre a disposición del Monitoreo del Hand-Held, que continuamente consulta a los módulos para actualizarlos. Todas las operaciones peligrosas pueden dañar el módulo. Por ejemplo, cuando se presenta un fallo en las salidas, el módulo automáticamente desactiva sus salidas.

Las fallas pueden ser borradas por el Hand-Held o por la CPU. Si la condición que genero la falla no fue corregida, el módulo envía otro mensaje de falla, después de que la falla fue borrada. Si el

dispositivo ha apagado un circuito en respuesta a una condición de falla y si luego la condición ha sido corregida, el modulo restaura el funcionamiento del circuito apenas se corrija el problema. Todos los dispositivos reciben la dirección SBA actual y el carácter de parada aun cuando no se utilicen los datos. Después de recibir el carácter de control de parada, cada dispositivo arranca un temporizador. El retardo de tiempo es igual a un tiempo de salto, multiplicado por la diferencia entre la SBA del dispositivo y la última SBA recibida. El dispositivo transmitirá después del retardo de tiempo si no se detecta primero ningún otro bit de inicio. Así, cada dispositivo va turnándose por el orden de su SBA. Las SBAs no utilizadas provocan unos tiempos más largos entre mensajes. Todos los dispositivos deben detectar mensajes dentro de este retardo de tiempo de salto. Si se pierde esta secuencia, se produce una “colisión” en el bus (dos fuentes transmitiendo simultáneamente). El tiempo de salto es igual al período de un bit, excepto a la velocidad de 153,6e en que es igual a dos períodos de bit. El intervalo más largo incluye retardos de propagación mayores debidos a unos cables de bus de mayor longitud o a la utilización de cables de fibra óptica o a otros repetidores. El caso más desfavorable es cuando las SBAs adyacentes están ubicadas físicamente en extremos opuestos de un bus largo. Por ejemplo, suponga que la SBA 4 y la SBA 6 están en un extremo de un bus de 2000 pies y la SBA5 en el otro, funcionando a 153,6s Kb. Cuando se detecta el carácter final de la SBA 4, la SBA 6 inicia inmediatamente la temporización de 2 tiempos de salto (13 us) para iniciar su transmisión. La SBA5 recibe el carácter final 3 ms más tarde y comienza la temporización de un tiempo de salto (6,5 ms). De este modo, la SBA 5 comenzará la transmisión 9,5 ms después de abandonar la SBA 4. Esto deja un margen de 3,5 ms para que la señal vuelva a la SBA6 para cancelar su turno de transmisión. El retardo de transmisión de 3 ms permite sólo 0,5 ms para hacerlo y evitar una colisión entre la SBA5 y la SBA 6.

Las colisiones en el bus provocan la pérdida de datos o la detección de errores CRC. Los problemas resultantes de las colisiones en el bus pueden arreglarse saltando una SBA, re secuenciando las SBAs en cuanto a su orden a lo largo del bus, comenzando a partir de 153,6 s baudios hasta llegar a las 153,6e o a velocidades en baudios inferiores.

Especificación eléctrica del transceptor Genius

Propiedad	Min,	Máx,
Tensión pico normal Vp en cable con terminación de 78 ohmios (1)	3,5 voltios	5,5 voltios
Tensión pico normal Vp en cable con terminación de 150 ohmios(1)	6,0 voltios	9,5 voltios
Impedancia nominal del bus (2)	78 ohmios	
Tensión máxima de salida (SER 1 y SER 2 abiertas) (3) : Pico Eficaz		35 voltios 15 voltios
Intensidad máxima de salida (SER 1 y SER 2 cortocircuitadas):Pico Eficaz		180 miliamperios 50 miliamperios
Resistencia fuente del transmisor	80 ohmios	140 ohmios
Inductancia de fuente del transmisor (Inductancia de fuga del transmisor)		10 microhenrios
Umbral de entrada del receptor; +Vr, -Vr (4)	0,7 voltios	1,1 voltios
Impedancia de entrada en modo recepción	10 K ohmios	
Inductancia de carga en modo recepción (Inductancia shunt transformador)	6 milihenrios	12 milihenrios
Rechazo en modo común del receptor (DC hasta 1 MHZ)	60 dB	
Condensador de terminación de pantalla	0,1 microfaradios	
Aislamiento, bus serie respecto a circuito, continuo	240 voltios AC	

(1) Vp puede variar según los distintos tipos de módulos.

(2) La carga nominal es la mitad de la impedancia del cable cuando se incluye la terminación.

(3) La tensión pico en circuito abierto contiene timbres subatenuados debido a la falta de terminación.

(4) Las tensiones de entrada entre los umbrales +Vr y -Vr se ignoran.

Una vez hecha la conexión, se realiza la correspondiente configuración de la red. A cada dispositivo se le va a asignar un número de nodo dentro de la red, el cual le va a permitir comunicarse con los demás. Para poder realizar dicha configuración se utilizara un Hand Held y además, permitirle al usuario poder ver como se encuentra la red (la cantidad de dispositivos, sus números de nodo, poder configurar sus salidas y sus entradas, etc.).

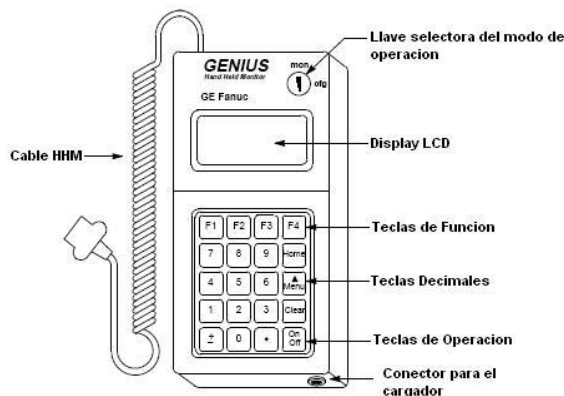


Figura 48- Modulo de configuración manual denominado Hand-Held

5.4.6.3.5. ETHERNET

Ethernet es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de “ether”. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama descrito más abajo, aunque no tenga CSMA/CD como método de acceso al medio.

Los elementos de una red Ethernet son:

- Tarjeta de Red,
- repetidores,
- concentradores,
- puentes,
- los conmutadores,
- los nodos de red,
- el medio de interconexión

Los nodos de red pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Equipo Terminal de Datos (DTE)
- Equipo de Comunicación de Datos (DCE)

Los DTE son dispositivos de red que generan o que son el destino de los datos: como los PCs, las estaciones de trabajo, los servidores de archivos, los servidores de impresión; todos son parte del grupo de las estaciones finales. Los DCE son los dispositivos de red intermediarios que reciben y retransmiten las tramas dentro de la red; pueden ser: ruteadores, conmutadores (switch), concentradores (hub), repetidores o interfaces de comunicación, ej.: un módem o una tarjeta de interface.

5.4.6.3.6. Fibra óptica

5.4.6.3.6.1. Introducción

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y superiores a las de cable convencional. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas.

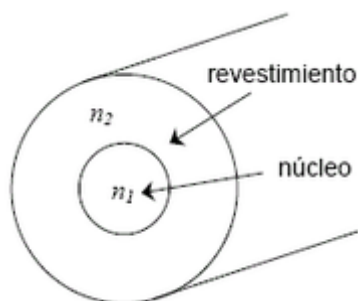


Figura 49.- Diagrama de un cable de fibra óptica

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

A lo largo de toda la creación y desarrollo de la fibra óptica, algunas de sus características han ido cambiando para mejorarla. Las características más destacables de la fibra óptica en la actualidad son:

Cobertura más resistente: La cubierta contiene un 25% más material que las cubiertas convencionales.

Uso dual (interior y exterior): La resistencia al agua y emisiones ultravioleta, la cubierta resistente y el funcionamiento ambiental extendido de la fibra óptica contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la fibra.

Mayor protección en lugares húmedos: Se combate la intrusión de la humedad en el interior de la fibra con múltiples capas de protección alrededor de ésta, lo que proporciona a la fibra, una mayor vida útil y confiabilidad en lugares húmedos.

Empaquetado de alta densidad: Con el máximo número de fibras en el menor diámetro posible se consigue una más rápida y más fácil instalación, donde el cable debe enfrentar dobleces agudos y

espacios estrechos. Se ha llegado a conseguir un cable con 72 fibras de construcción súper densa cuyo diámetro es un 50% menor al de los cables convencionales.

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica:

- Multimodo
- Monomodo.

5.4.6.3.6.2. Fibra multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- Índice escalonado: en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- Índice gradual: mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales.

Además, según el sistema ISO 11801 para clasificación de fibras multimodo según su ancho de banda se incluye el +pichar (multimodo sobre láser) a los ya existentes OM1 y OM2 (multimodo sobre LED).

- OM1: Fibra 62.5/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usan LED como emisores
- OM2: Fibra 50/125 μm , soporta hasta Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), usan LED como emisores
- OM3: Fibra 50/125 μm , soporta hasta 10 Gigabit Ethernet (300 m), usan láser (VCSEL) como emisores.

Bajo OM3 se han conseguido hasta 2000 MHz km (10 Gbit/s), es decir, una velocidades 10 veces mayores que con OM1.

5.4.6.3.6.3. Fibra monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gbit/s).

5.5. Teoría de pantallas táctiles

5.5.1. Introducción

La maquinaria y los sistemas de control para procesos industriales se han ido desarrollando para repetir tareas mecánicamente, siguiendo las pautas marcadas por unos programas de manera que se produzca un aumento en la productividad del sistema. Este conjunto de razones nos llevan a diseñar

sistemas de control que sean flexibles y fáciles de manejar por parte del operario. La combinación de los sistemas de control y la visualización de los procesos en una plataforma o maquinaria reduce el número de componentes automáticos. Estas plataformas reciben el nombre de HMI (Human Machina Interface).

Las HMI tienen distintas funciones entre las cuales destacan las siguientes:

- Supervisión de los lazos de control del sistema.
- Realizar tareas de carga y supervisión de programas de punto de consigna.
- Transferencia de información entre dispositivos
- Iniciar acciones por parte del operador.
- Visualización del estado de las alarmas y los sucesos del sistema.

Hasta no hace muchos años las interfaces de operador eran considerados elementos que permitían actuar sobre la máquina de una forma totalmente pasiva. Las HMI no poseían capacidad de decisión en la máquina o en el proceso que se deseaba controlar. Su función se limitaba a la entrada y salida de variables de automatización en el sistema.

Como consecuencia de estas políticas de mercado existían pantallas que mediante una interface gráfica y una serie de botones permitían la comunicación con el autómata. Estas deficiencias se han ido superando mediante la incorporación de sistemas SCADA que dotan al sistema de una gran capacidad de diagnóstico y almacenamiento de datos y de conectividad a la red de Internet para poder monitorizar estas variables de forma remota.

Pantallas táctiles por infrarrojos están formadas por una carcasa en las que se sitúan unos emisores y unos receptores tanto horizontalmente como verticalmente, cubriendo todo el plano de luz infrarroja. Al pulsar con el dedo o con algún objeto opaco, se interrumpen los haces de luz y por tanto el procesador puede actuar en consecuencia. En muchos casos se dan falsas pulsaciones por la suciedad. Los sensores táctiles sustituyen los teclados en la mayoría de aplicaciones ya que funciona como un ratón y además permiten diseñar un teclado virtual en pantalla. Todos los sensores táctiles, también conocidos como **touch screen** funcionan basados en el mismo principio: medir coordenadas mediante alteración de flujo.

Ventajas:

- Funcionamiento estable con una respuesta rápida.
- Asequibles por el tipo de construcción.
- El polvo o agua no afectan su funcionamiento.
- Tratamiento antirreflejos.

Inconvenientes:

- Suelen provocar una pérdida de brillo de un 25%.
- Frágiles al contacto con objetos afilados o ambientes agresivos.
- Con el tiempo es necesario recalibrar.

5.5.2. Clasificación

5.5.2.1. Pantallas táctiles con sistemas de ondas acústicas superficiales.

Estas se caracterizan por dos transductores de onda inaudible para el oído humano que están situados a través del eje X e Y de la pantalla del monitor. Alrededor de la pantalla se sitúan unos reflectores. La pantalla está analizando en cada instante la potencia de onda recibida, pudiendo sufrir una disminución cuando el dedo presiona la pantalla. Provocando la detección del punto de impacto.

5.5.2.2. Pantallas táctiles capacitivas.

Son las que utilizan los **touchpad** que sustituyen a los ratos de los portátiles, son muy utilizadas en ambiente industrial. El elemento principal son las rejillas que se constituyen de unas capas de electrodos horizontales y verticales que se superponen. Entre ambas capas de electrodos se dispone un condensador. El efecto final cuando pulsa en la pantalla sufre una transferencia de la carga de los electrodos, esta variación es detectada por el procesador que permite detectar el punto de impacto. A continuación se muestran algunos modelos de pantallas táctiles.