



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION

Tesis monográfica para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Título

**"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control
Electromecánico"**

Autor:

Br. Ulises José Fariñas Morales. Carnet 2006-23228

Tutor:

Msc. Ing. Alejandro Hernández Solís.

Managua, Nicaragua, Julio de 2021



Resumen

La presente tesis: "Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico", se basa en un proceso investigativo y analítico, para llegar a establecer un método de diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico aplicados a motores de corriente directa y de corriente alterna, utilizados en procesos industriales, manufactura, comercios y aplicaciones en electrodomésticos, basados en criterios de diseño integral (normalizado y con criterios de evaluación técnico-económico).

Este proyecto se creó con el fin de desarrollar criterios técnicos para el dimensionamiento y desarrollo de soluciones aplicables a los sistemas de control electromecánico que corresponden a motores de corriente directa y de corriente alterna. Donde se implementen criterios de evaluación y análisis de ingeniería técnica, en coordinación con los costos (económicos) dirigidos a los sistemas de control electromecánicos para motores de corriente directa y de corriente alterna.

A la presente tesis se le adjunta disco CD-ROM, con archivos digitales que competen a este trabajo, como son software de simulación CADE SIMU, archivo con sistema de control de suministro de diésel para simular en CADE SIMU, archivo de Microsoft Excel con evaluación financiera, manuales de los dispositivos usados en el ejemplo de aplicación presentado y archivo en formato PDF de esta monografía.



Índice de contenido

Dedicatoria	1
Introducción	2
Antecedentes	5
Justificación	7
Objetivos	8
I. Marco Teórico	9
I.I Electromagnetismo, mecánica y sistemas de control	18
I.I.I Sistema de control de lazo abierto	20
I.I.II Sistema de control de lazo cerrado	21
I.I.III Tipos de Sistemas de Control.....	22
I.II Elementos Básicos de un Sistema de Control.....	26
I.II.I El Actuador	27
I.II.II El Transductor	28
I.II.III El Controlador.....	28
Hipótesis y variables	31
Metodología de desarrollo de la investigación	32
Capítulo 1.- Parámetros, Normas y criterios de evaluación para los Sistemas electromecánicos	34
1.1 Parámetros y Normas aplicables.....	35
1.2 Normas de seguridad para instalaciones eléctricas	36
1.3 Principales Normas Electrotécnicas	38
1.3.1 Norma internacional IEC.....	39
1.3.2 Norma Norteamericana ANSI.....	44
1.4 Criterios de Evaluación.....	45
Capítulo 2.- Modelado y Simulación de sistemas de control electromecánicos.	46
2.1 Modelo matemático.	47



2.2	Simulación de un sistema de control.	50
2.3	Simulación de circuito de fuerza y control, para sistema de llenado y suministro de diésel con bomba	52
Capítulo 3.- Aplicación del método de diseño, selección y aplicación de los sistemas electromecánicos.		54
3.1	Método de Diseño.	55
3.2	Selección y aplicación de los sistemas de control electromecánicos.	57
3.3	Ejemplos de aplicación de sistemas de control electromecánicos.	58
3.4	Aplicación del método de diseño y selección del sistema de control electromecánico.	60
3.5	Aplicación del sistema de control electromecánico.	72
Capítulo 4.- Evaluación Técnico – Económica para la implementación del método de diseño, selección y aplicación de un sistema electromecánico.		74
4.1	Evaluación Técnico – Económica de la implementación del método de diseño de un sistema electromecánico.	75
Capítulo 5.- Resultados obtenidos de la investigación, método de diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico.		82
5.1	Resultados de la investigación.	83
Conclusiones y Recomendaciones.		85
Conclusiones.....		85
Recomendaciones.....		86
Bibliografía.....		88
ANEXO I		90
Simbologías ANSI e IEC		90



Dedicatoria

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto; por otorgarme salud, ser la fuente de vida, fortaleza y darme lo necesario para seguir adelante con el esfuerzo diario hasta lograr mis objetivos y metas. Además, agradezco enormemente a mi madre aún con vida y padre fallecido el 07 de junio del 2021 "Dios lo tenga en su reino" por darme todo el apoyo, las bases y principios necesarios para culminar con éxito este gran proyecto monográfico, por enseñarme los valores de la responsabilidad, respeto y humildad.

Agradezco también a la universidad por permitirme y darme la oportunidad de estudiar esta segunda carrera de ingeniería, donde tuve el privilegio de recibir clases de docentes con mucha experiencia y conocimiento en el campo de la ingeniería eléctrica.

Ulises Fariñas.



Introducción

El desarrollo de esta investigación es debido a que no hay estandarización en Nicaragua para la elaboración de diseños electromecánicos, muchas veces ocurre que se mezclan diferentes normas, además de no seguir un orden adecuado de proceder para el desarrollo e implementación de sus diseños, es muy común que durante este proceso se cometan errores al elaborar diseños por no considerar las condiciones previas de la instalación, tanto en la lógica de operación de los sistemas hasta en los niveles de voltajes de control y fuerza de los que se dispone en el sitio, por lo que esto provoca que se tengan que hacer ajustes al primer diseño propuesto o hasta cambiarlo en su totalidad al no poder implementarse el sistema diseñado inicialmente y tener que cambiar el diseño por uno que si aplique.

Puede ocurrir que, al no tomar las consideraciones necesarias se llegue a seleccionar equipos que no se acoplen a las características técnicas de la instalación existente, esto es debido al desorden u obviar el proceder correcto para llevar a cabo un diseño. Para evitar estos y otros inconvenientes como pérdida de tiempo y desperdicios de recursos económicos y materiales, el propósito de esta investigación es la de brindar un método que facilite el diseño, selección y aplicación de los sistemas de control electromecánicos, en el que siguiendo sistemáticamente los pasos en el diagrama de flujo de la figura No. 20, se garantiza el correcto funcionamiento del sistema y la optimización del mismo bajo los mínimos costos de inversión económicos. En la presente investigación se abordan los artículos más relevantes de las normas NFPA 70, IEC y ANSI para sistemas de control electromecánicos, para así lograr la estandarización de los diseños.

En base a una evaluación financiera (tabla No. 8) realizada a un ejemplo que sigue el método propuesto, podemos ver los beneficios obtenidos con este proyecto e igual ocurre con proyectos similares, por lo que debemos tener en cuenta los beneficios que se pierden al atrasar la implementación de un proyecto, aunque



sea en un solo día. Con lo cual tratamos de evitar cualquier atraso e inconveniente al hacer uso de nuestro método propuesto.

Los Sistemas Electromecánicos “son aquellos sistemas híbridos de variables mecánicas y eléctricas” (Benjamin & Kuo, 2007). Las aplicaciones para componentes electromecánicos cubren un amplio espectro, como son las aplicaciones industriales, comerciales y residenciales.

La función de un sistema de control electromecánico es activar los distintos dispositivos que lo componen en el momento adecuado y durante el tiempo previsto para que funcione correctamente.

El control automático aplicado mediante sistemas de control electromecánicos, ha permitido automatizar la fabricación de muchos productos, evitando a las personas tareas repetitivas o peligrosas y haciendo que su producción sea más económica. Nuestra economía actual está basada en gran medida en la automatización, lo que permite aumentar la productividad y reducir o eliminar trabajos que requieren mucho esfuerzo físico, con lo cual se incrementa la seguridad.

Un sistema de control electromecánico (Facultad de Ingeniería, Univ. de Buenos Aires), consta de uno o varios circuitos cuya finalidad es la de alimentar eléctricamente a actuadores encargados de realizar un trabajo. Este trabajo será típicamente mecánico, como el caso de una bomba o una electroválvula, aunque también podría ser calorífico, o generar un aviso luminoso, sonoro, etc. El resultado del actuador también podría ser la conexión de sistemas de potencia o generadores eléctricos, como los interruptores de potencia.

La elaboración de proyectos para resolver problemas específicos de la industria, comercio, etc, utilizando la automatización de procesos, mediante sistemas de control electromecánicos, consiste básicamente en proporcionar un arreglo de conductores, materiales y equipos de toda índole, con el fin de utilizar la energía eléctrica en forma segura y eficaz desde la fuente de suministro hasta el último utilitario: lámparas, motores y los diversos dispositivos de control y protección, que constituyen el sistema.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

En esta investigación nos centramos en llegar a establecer un método de diseño aplicado a los sistemas de control electromecánicos para motores de corriente directa y de corriente alterna, debemos entender por **método**: "El Modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado o fin determinado" (Diccionario Oxford, s.f.); que nuestro caso particular es garantizar la operación del sistema de control electromecánico de forma segura, óptima y eficaz, lo cual se logrará mediante un buen diseño que cumpla con las Normas nacionales e internacionales que especificaremos en el desarrollo de esta investigación.

Por lo tanto, esta investigación presenta una secuencia ordenada de pasos en la figura No. 20, que se deben seguirse para el diseño, selección e implementación de un sistema de control electromecánico aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, que garantice la funcionabilidad del mismo, su operatividad de forma segura para proteger tanto las vidas humanas como el mismo equipo bajo control y su optimización técnico-económica.



Antecedentes

Los sistemas de control electromecánicos aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, son ampliamente utilizados tanto a nivel industrial, comercial y de equipos utilizados en electrodomésticos.

Así por ejemplo nos encontramos con aplicaciones de sistemas de control electromecánicos en máquinas transportadoras de bandas para industrias, supermercados, etc., cambio de giro de un motor, bombas sumergibles, centrifugadoras, etc.

Actualmente en nuestro país a nivel de diseño, selección y aplicación de sistemas de control electromecánico para motores de corriente directa y de corriente alterna, los diseñadores se basan en criterios generales teóricos sobre la materia de sistemas electromecánicos, cada uno de ellos sigue su propia secuencia lógica de funcionabilidad para el sistema a implementar, de esta forma pueden resultar más de una propuesta de diseño funcional que puede ser implementado, que cumple además con el criterio de seguridad eléctrica. Dejando muchas veces a un lado los criterios de optimización del diseño a implementar y la evaluación técnico-económica.

Podemos entonces concluir que por un lado cada diseñador sigue su propia secuencia lógica de diseño del sistema de control electromecánico a desarrollar y que, en segundo lugar, al existir más de una propuesta funcional para el sistema de control, no existe una normalización en su diseño y finalmente que no se aplican los criterios de optimización de recursos en el diseño, ni tampoco se realiza una evaluación bajo criterios técnico-económico del diseño.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

En nuestro caso particular al implementar un método secuencial para el diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánicos aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, en el cual lograremos no sólo la normalización de los diseños, sino además garantizaremos: su funcionabilidad, optimización y el uso de criterios técnicos-económicos.



Justificación

Esta investigación realizada propone un método secuencial sencillo para el diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, basado no sólo en criterios teóricos sobre la materia de Sistemas Electromecánicos, sino además bajo la aplicación de Normas de seguridad y electrotécnicas, nacionales (CIEN, basado en NFPA 70) e internacionales (NFPA 70, IEC y ANSI), y con criterios de evaluación técnico-económica; con el objetivo de garantizar la normalización de los diseños, su funcionabilidad y optimización bajo mínimos costos de inversión.

Lo meta a alcanzar con esta investigación realizada, es no sólo garantizar la solución en la implementación del sistema de control electromecánico, sino de un método de diseño integral (normalizado y con criterios de evaluación técnico-económico).

Como valor agregado debemos resaltar, que esta investigación realizada, servirá de guía no sólo para quienes trabajan en la solución de problemas de sistemas de control electromecánico en la industria, sino además para docentes y estudiantes de pregrado y la sociedad en general vinculada a la aplicación del tema.



Objetivos

Objetivo General:

- Establecer un método de diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico aplicados a motores de corriente directa y de corriente alterna, utilizados en procesos industriales, manufactura, comercios y aplicaciones en electrodomésticos, basados en criterios de diseño integral (normalizado y con criterios de evaluación técnico-económico).

Objetivos específicos:

- Establecer los parámetros, normas y criterios de diseño para los sistemas de control electromecánico aplicados a motores de corriente directa y de corriente alterna.
- Desarrollar criterios técnicos para el dimensionamiento y desarrollo de soluciones aplicables a los sistemas de control electromecánico que corresponden a motores de corriente directa y de corriente alterna.
- Seleccionar las normas en el área de diseño y su aplicación a los sistemas de control electromecánico para motores de corriente directa y corriente alterna.
- Implementar los criterios de evaluación y análisis de ingeniería técnica, en coordinación con los costos (económicos) dirigidos a los sistemas de control electromecánicos para motores de corriente directa y de corriente alterna.
- Evaluar las consideraciones técnico-económica, necesarias para la implementación de esta investigación.



I. Marco Teórico

De manera general los sistemas de control electromecánicos aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, constan de uno o varios circuitos cuya finalidad es la de alimentar eléctricamente a actuadores encargados de realizar un trabajo.

El resultado del actuador también podría ser la conexión de sistemas de potencia o generadores eléctricos.

Componentes de un sistema de control electromecánico:

1. Esquema eléctrico conformado por un circuito principal o de potencia.
2. Circuito de mando o de control del sistema.

El circuito de fuerza será el encargado de transmitir la potencia al elemento accionado, constará de tres o cuatro hilos (conductores) en el caso de alimentación alterna trifásica o de dos hilos en caso de alimentación monofásica o de corriente continua con los niveles adecuados de tensión.

El circuito de mando será el encargado de realizar las funciones de temporización, autorretención, protección, etc. que nos permitan un mayor control de los dispositivos. Consta de dos hilos porque se trabaja generalmente con alimentación alterna monofásica (220V o menor) o alimentación continua (48V, 24V, 12V).



Elementos de un sistema de control electromecánico aplicados a motores de corriente directa y de corriente alterna;

Los principales elementos son:

- Dispositivos de maniobra Contactor, el cual recibe la orden eléctrica de apertura y cierre del sistema.
- Protección Fusible, para abrir el sistema en caso de sobre corriente.
- Interruptor magnetotérmico (breaker), para controlar la alimentación de los circuitos de fuerza y control, además de proteger contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Relé térmico, se usa en caso de que el circuito de fuerza requiera protección térmica, ubicado a continuación del contactor.
- Guardamotor: protección magnetotérmica similar al breaker, pero con una actuación adecuada para soportar las corrientes de arranques de motores.
- Dispositivos de mando Pulsador (paro de emergencia, pulsador de marcha, pulsador de paro), generalmente con contactos normalmente abiertos, y en ciertos casos para cadenas de seguridad se usa paros de emergencia con contactos normalmente cerrados.
- Selector Interruptor de posición o final de carrera, usado para detener el recorrido de un dispositivo en específico, para señalización remota de posición, entre otras.
- Detector (inductivo, capacitivo, fotoeléctrico), entre ellos están los sensores e interruptores de nivel, detectores ópticos de neblina de aceite en cárter de motores de combustión, sensores ultrasónicos de nivel, sensores de humo, etc.
- Dispositivos de señalización Ópticos (luz piloto) o Acústicos (zumbadores o timbres), estos indican una emergencia, alarma o fallo de algún sistema, ya sea con sirena lumínica o audible, la cual puede accionarse con electricidad o aire de control (8 a 10 bar de presión).



Ejemplos de sistemas de control electromecánicos:

- ❖ Un sistema de control electromecánico aplicado a motores de corriente directa y corriente alterna lo constituye el circuito de control para el cambio de sentido de giro de un motor, un esquema básico aplicado en accionamientos de grúas montacarga. (Valenzuela, s.f.)

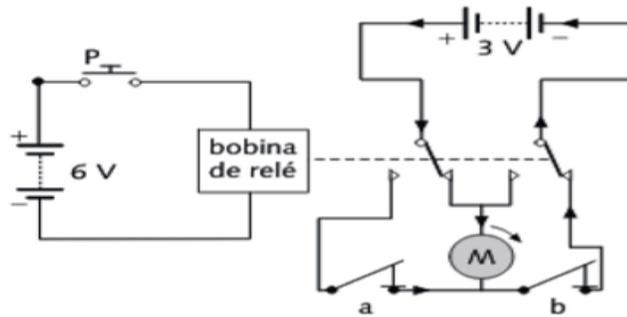


Figura No. 1: Cambio de sentido de giro de un motor

Fuente: www.academia.edu.

- ❖ Esquema de automatización de iluminación exterior e interior de emergencia en subestación de transmisión eléctrica, haciendo uso de PLC(LOGO) y vigilante de tensión de red.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

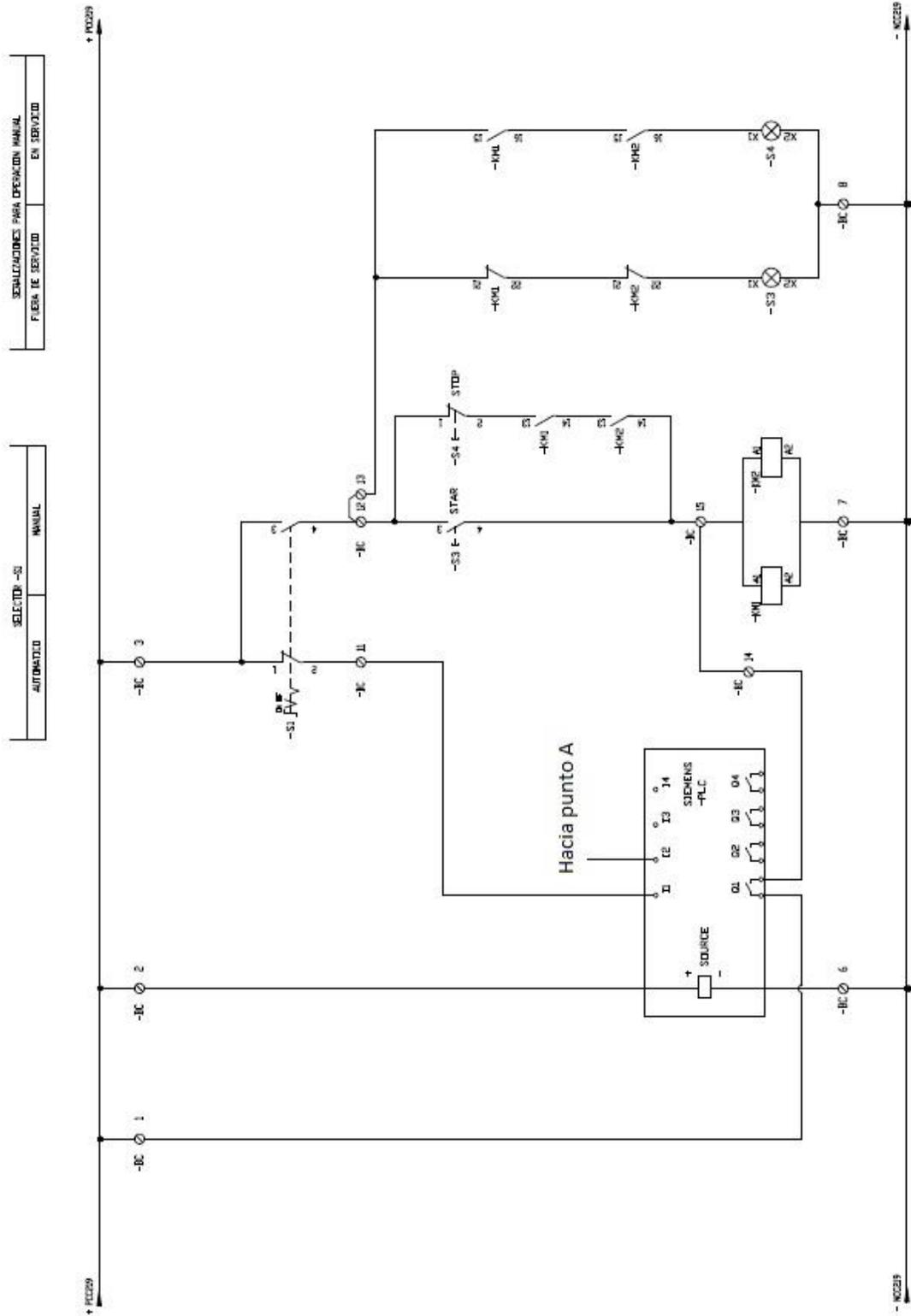


Figura No. 2: Circuito de control automatización iluminación.

Fuente: Diseño propio implementado en ENATREL.

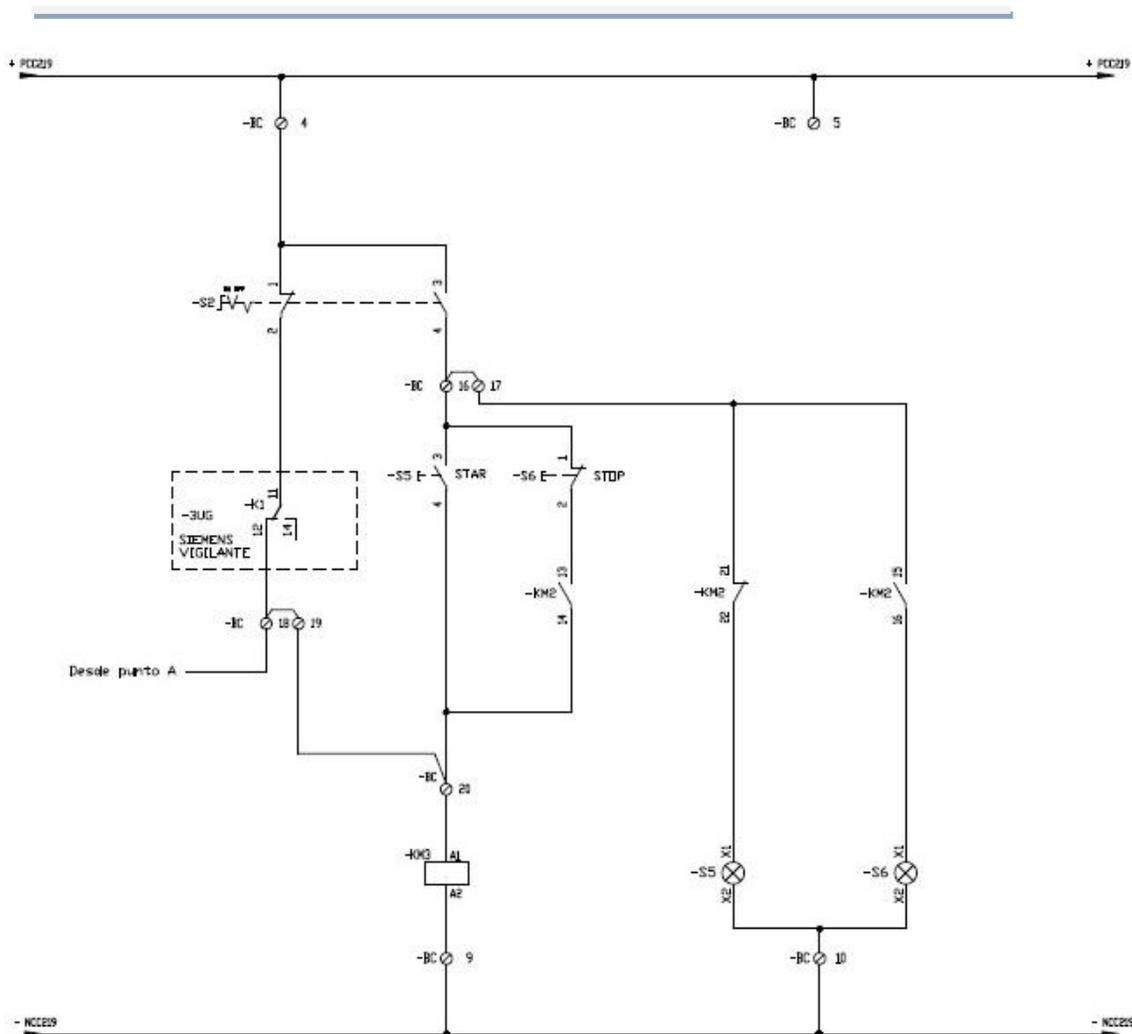


Figura No. 3: Circuito de control automatización iluminación.

Fuente: Diseño propio implementado en ENATREL.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

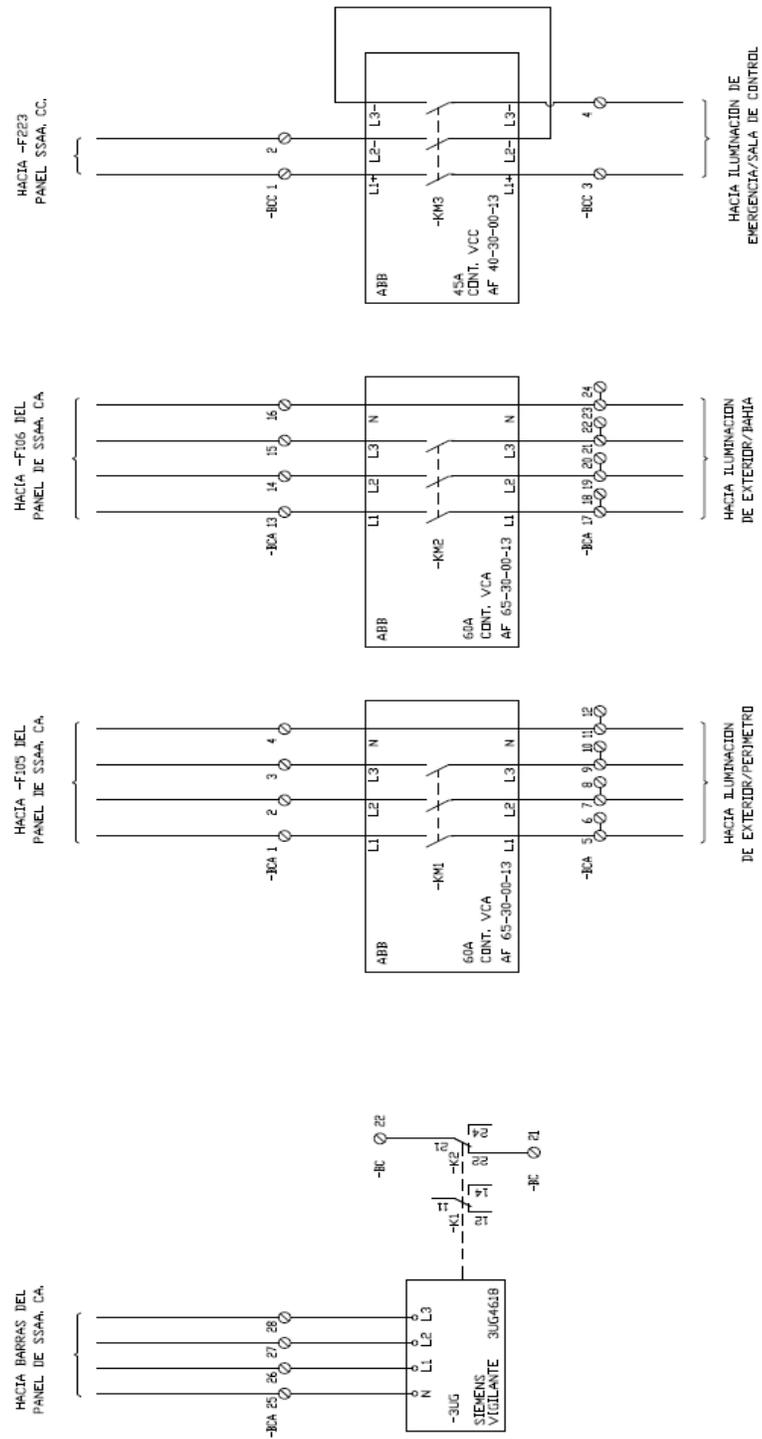


Figura No. 4: Circuito de fuerza automatización iluminación.

Fuente: Diseño propio implementado en ENATREL.



- ❖ Diagrama para llenado de depósito de agua con 2 interruptores, tipo flotador.

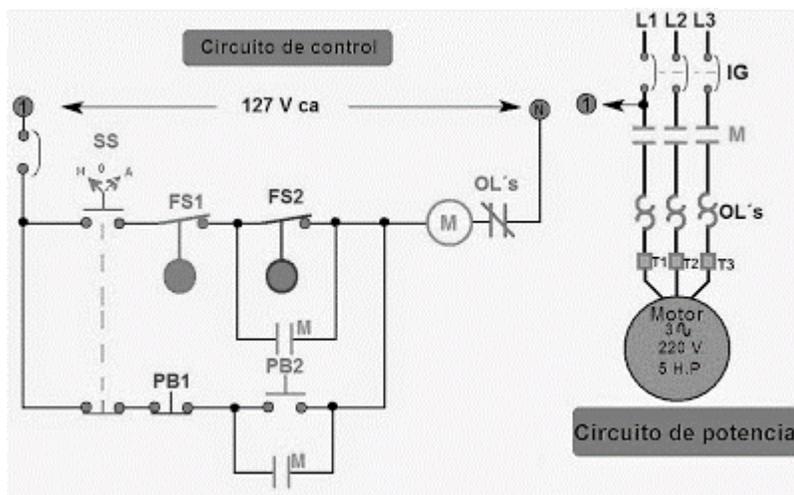


Figura No. 5: Diagrama eléctrico para llenado de depósito de agua.

Fuente: <https://coparoman.blogspot.com/>

En este ejemplo una bomba controlada por un motor eléctrico AC, llenara de manera automática un depósito de agua.

Este control cuenta con un selector de 3 posiciones que son: manual, fuera y automático.

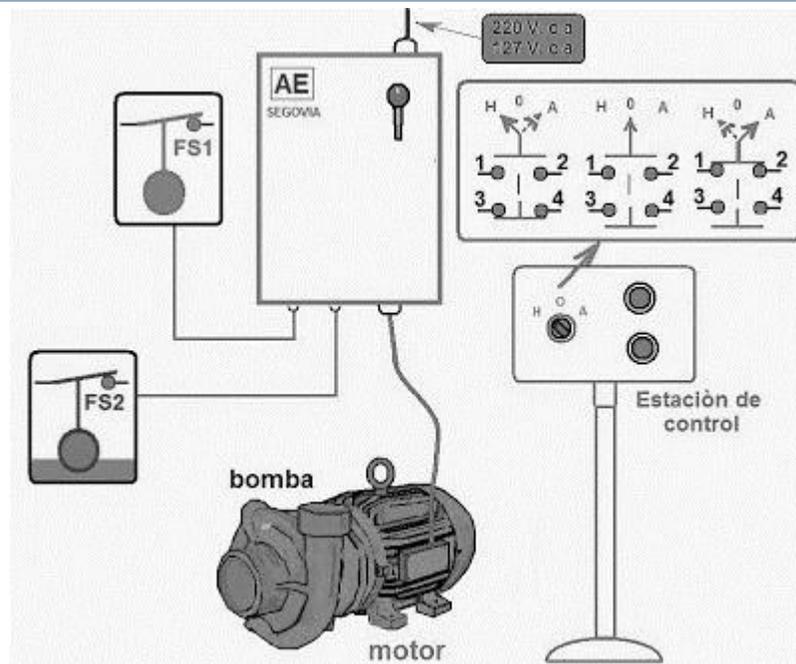


Figura No. 6: Distribución de componentes de instalación eléctrica.

Fuente: <https://coparoman.blogspot.com/>

A continuación, se muestra la ubicación de los interruptores de nivel.

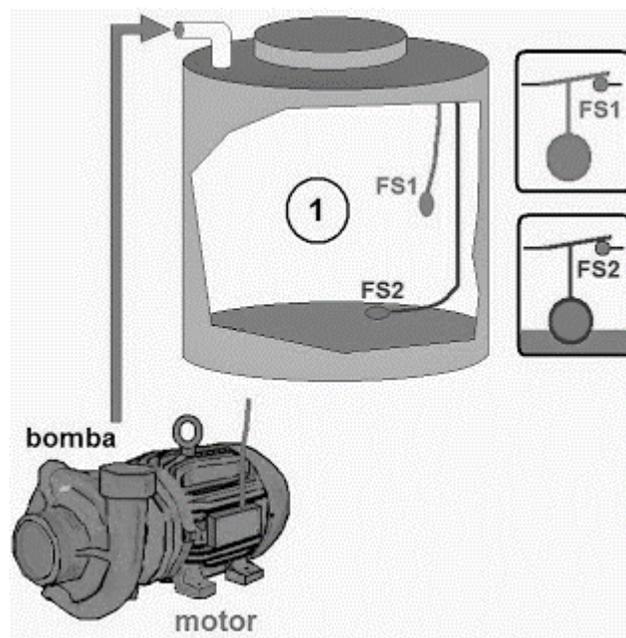


Figura No. 7: Ubicación de interruptores de nivel.

Fuente: <https://coparoman.blogspot.com/>



El interruptor de flotador FS1 detecta el nivel alto y detendrá el motor de la bomba cuando se llene el depósito.

El interruptor de flotador FS2 detecta el nivel bajo y ordenara arrancar el motor de la bomba cuando se active el nivel bajo.

Con todo lo anterior podemos ver que hoy en día gracias al avance de la tecnología podemos maximizar el uso de los sistemas de control electromecánico en aplicaciones con variadores de velocidad para: Elevadores, máquinas transportadoras, bandas industriales, fresadoras, tornos, equipos de bombeo, etc.; las aplicaciones de los variadores de velocidad son numerosas y de uso común, tanto en el ámbito industrial como en el sector comercial.

Un variador de velocidad es el equipo utilizado en sistemas de accionamiento electromecánicos para controlar la velocidad y el par del motor de corriente alterna variando la frecuencia y el voltaje de entrada del motor. Los variadores de velocidad pueden ser: eléctricos, hidráulicos, mecánicos o incluso electrónicos.

De acuerdo al tipo de problema a resolver en nuestra investigación, la podemos categorizar como una investigación aplicada, la cual podemos definir como aquella que se enfoca en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la utilización de conocimientos, de una o varias áreas especializadas, por ejemplo: hidráulica y mecánica para poder hacer la selección de una bomba que tenga la suficiente potencia para mantener el adecuado caudal hasta un punto determinado. Es decir, que el propósito es implementar de forma práctica los conocimientos adquiridos para satisfacer necesidades específicas, proporcionando al final soluciones a problemas de distintos sectores, tanto al sector agroindustrial y otros campos relacionados con el tema.



I.I Electromagnetismo, mecánica y sistemas de control

En este Capítulo generalizamos acerca del concepto de electromecánica y su vinculación con los sistemas de control electromecánicos, iniciaremos con los primeros inventos de la electromecánica.

DEFINICION:

La electromecánica es la combinación de las ciencias del electromagnetismo de la ingeniería eléctrica y la ciencia de la mecánica. La Ingeniería electromecánica es la disciplina académica que la aborda.

Paul Nipkow propuso y patentó el primer sistema electromecánico de televisión en 1885. Las máquinas de escribir eléctricas se desarrollaron hasta los años 80 como "máquinas de escribir asistidas por energía". Estas máquinas contenían un único componente eléctrico, el motor. Mientras que antiguamente la pulsación de una tecla movía directamente una palanca de metal con el tipo deseado, con estas máquinas eléctricas las teclas enganchaban diversos engranajes mecánicos que dirigían la energía mecánica desde el motor a las palancas de escritura. Esto mismo ocurría con la posteriormente desarrollada IBM Selectric. En los años 40 se desarrolló en los Laboratorios Bell la computadora Bell Model V. Se trataba de un gran aparato electromecánico basados en relés con tiempos de ciclo del orden de segundos. En 1968 la compañía estadounidense Garrett Systems fue invitada a producir una computadora digital para competir con los sistemas electromecánicos que se estaban desarrollando entonces para la computadora principal de control de vuelo del nuevo avión de combate F-14 Tomcat de la Marina americana.

SITUACION ACTUAL

Muchos aparatos comunes que antiguamente hubiesen empleado dispositivos electromecánicos para su control emplean hoy en día, de una forma más barata y



efectiva, un circuito integrado estándar (con unos pocos millones de transistores) para el cual se escribe un programa informático que lleva a cabo la misma tarea de control a través de la lógica. Los transistores han reemplazado prácticamente a todos los dispositivos electromecánicos, se utilizan en la mayoría de sistemas de control realimentados y aparecen en grandes cantidades en todos los aparatos electrónicos, desde los semáforos hasta las lavadoras.

SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control, según la teoría cibernética, se aplican en esencia para los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones. Estos sistemas fueron relacionados por primera vez en 1948 por Norbert Wiener en su obra Cibernética y Sociedad con aplicación en la teoría de los mecanismos de control. Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

Hoy en día los procesos de control son ampliamente utilizados dentro del proceso industrial que estamos viviendo. Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos en base a muchos parámetros y reciben el nombre de controladores de automatización programables (PAC).

La ingeniería de control es la rama de la ingeniería que se basa en el uso de elementos sistemáticos como controladores PLC y PAC, control numérico o servomecanismos relacionados con aplicaciones de la tecnología de la información, como son tecnologías de ayuda por computador CAD, CAM o CAx, para el control industrial de maquinaria y procesos, reduciendo la necesidad de intervención humana. En el ámbito de la industrialización, la automatización está un paso por delante de la mecanización. Mientras que la mecanización provee



operadores humanos con maquinaria para ayudar a exigencias musculares de trabajo, la automatización reduce considerablemente la necesidad para exigencias humanas sensoriales y mentales. Los procesos y los sistemas también pueden ser automatizados.

La Ingeniería de Control se preocupó desde sus orígenes de la automatización y del control automático de sistemas complejos, sin intervención humana directa. Campos como el control de procesos, control de sistemas electromecánicos, supervisión y ajuste de controladores y otros donde se aplican teorías y técnicas entre las que podemos destacar: Control óptimo, control predictivo, control robusto y control no lineal entre otros, todo ello con trabajos y aplicaciones muy diversas (investigación básica, investigación aplicada, militares, industriales, comerciales, etc.), las cuales han hecho de la ingeniería de control una materia científica y tecnológica imprescindible hoy en día.

CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

I.1.1 Sistema de control de lazo abierto

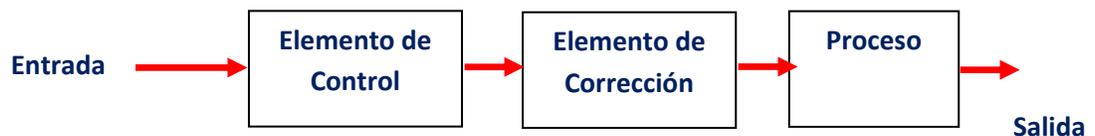


Figura No. 8: Sistema en lazo abierto.

Fuente: <https://www.academia.edu>

Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador. Por ejemplo, el llenado de un tanque usando una manguera de jardín, mientras que la llave siga abierta, el agua fluirá.



Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil concepto.
- Nada asegura su estabilidad ante una perturbación.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Éstas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

I.I.II Sistema de control de lazo cerrado

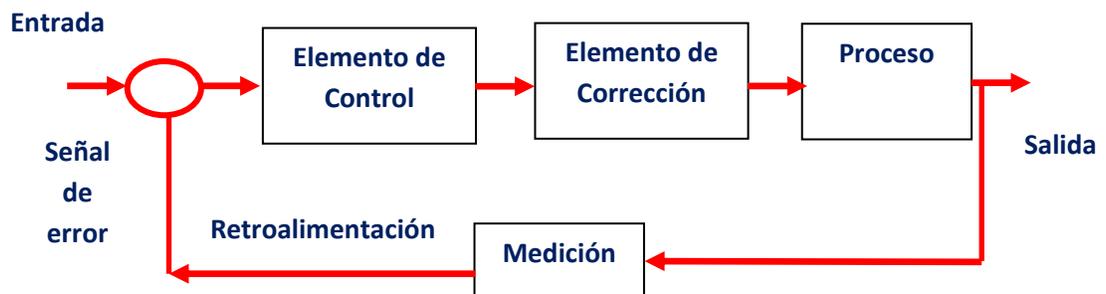


Figura No. 9: Sistema en lazo cerrado.

Fuente: <https://www.academia.edu>

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia. El control en lazo cerrado es imprescindible cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso.



Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y le afecta para el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

I.I.III Tipos de Sistemas de Control

Los sistemas de control son agrupados en tres tipos básicos:

I.I.III.I Hechos por el hombre. Como los sistemas eléctricos o electrónicos que están permanentemente capturando señales de estado del sistema bajo su control y que, al detectar una desviación de los parámetros preestablecidos del funcionamiento normal del sistema, actúan mediante sensores y actuadores, para llevar al sistema de vuelta a sus condiciones operacionales normales de funcionamiento. Un claro ejemplo de este será un termostato, el cual capta consecutivamente señales de temperatura. En el momento en que la temperatura desciende o aumenta y sale del rango, este actúa encendiendo un sistema de refrigeración o de calefacción.

I.I.III.II Por su causalidad pueden ser: causales y no causales. Un sistema es causal si existe una relación de causalidad entre las salidas y las entradas del sistema, más explícitamente, entre la salida y los valores futuros de la entrada.

I.I.III.III Según el número de entradas y salidas del sistema, se denominan: por su comportamiento

I.I.III.IV De una entrada y una salida o SISO (single input, single output).

I.I.III.V De una entrada y múltiples salidas o SIMO (single input, multiple output).



I.I.III.VI De múltiples entradas y una salida o MISO (multiple input, single output).

I.I.III.VII De múltiples entradas y múltiples salidas o MIMO (multiple input, multiple output).

I.I.III.VIII Según la ecuación que define el sistema, se denomina:

- Lineal, si la ecuación diferencial que lo define es lineal.
- No lineal, si la ecuación diferencial que lo define es no lineal.

I.I.III.IX Las señales o variables de los sistemas dinámicos son función del tiempo. Y de acuerdo con ello estos sistemas son:

- ❖ De tiempo continuo, si el modelo del sistema es una ecuación diferencial, y por tanto el tiempo se considera infinitamente divisible. Las variables de tiempo continuo se denominan también analógicas.
- ❖ De tiempo discreto, si el sistema está definido por una ecuación por diferencias. El tiempo se considera dividido en períodos de valor constante. Los valores de las variables son digitales (sistema binario, hexadecimal, etc), y su valor solo se conoce en cada período.
- ❖ De eventos discretos, si el sistema evoluciona de acuerdo con variables cuyo valor se conoce al producirse un determinado evento.

Según la relación entre las variables de los sistemas, diremos que:

Dos sistemas están acoplados, cuando las variables de uno de ellos están relacionadas con las del otro sistema.

Dos sistemas están desacoplados, si las variables de ambos sistemas no tienen ninguna relación.

I.I.III.X En función de la evolución de las variables de un sistema en el tiempo y el espacio, pueden ser:



I.I.III.X.I Estacionarios, cuando sus variables son constantes en el tiempo y en el espacio.

I.I.III.X.II No estacionarios, cuando sus variables no son constantes en el tiempo o en el espacio.

I.I.III.XI Según sea la respuesta del sistema (valor de la salida) respecto a la variación de la entrada del sistema:

- El sistema se considera estable cuando ante cualquier señal de entrada acotada, se produce una respuesta acotada de la salida.
- El sistema se considera inestable cuando existe por lo menos una entrada acotada que produzca una respuesta no acotada de la salida.

I.I.III.XII Según la posibilidad de predecir el comportamiento de un sistema, es decir su respuesta, se clasifican en:

- Sistema determinista, cuando su comportamiento futuro es predecible dentro de unos límites de tolerancia.
- Sistema estocástico, si es imposible predecir el comportamiento futuro. Las variables del sistema se denominan aleatorias.

I.I.III.XIII **Naturales**, incluyendo sistemas biológicos. Por ejemplo, los movimientos corporales humanos como el acto de indicar un objeto que incluye como componentes del sistema de control biológico los ojos, el brazo, la mano, el dedo y el cerebro del hombre. En la entrada se procesa el movimiento y la salida es la dirección hacia la cual se hace referencia.

I.I.III.XIV **Cuyos componentes están unos hechos por el hombre y los otros son naturales**. Se encuentra el sistema de control de un hombre que conduce su vehículo. Este sistema está compuesto por los ojos, las manos, el cerebro y el vehículo. La entrada se manifiesta en el rumbo que el conductor debe seguir sobre la vía y la salida es la dirección actual del automóvil. Otro ejemplo puede ser las decisiones que toma un político antes de unas elecciones. Este sistema está compuesto por ojos, cerebro, oídos,



boca. La entrada se manifiesta en las promesas que anuncia el político y la salida es el grado de aceptación de la propuesta por parte de la población.

Un sistema de control puede ser neumático, eléctrico, mecánico o de cualquier tipo, su función es recibir entradas y coordinar una o varias respuestas según su lazo de control (para lo que está programado).

Control Predictivo, son los sistemas de control que trabajan con un sistema predictivo, y no activo como el tradicional (ejecutan la solución al problema antes de que empiece a afectar al proceso). De esta manera, mejora la eficiencia del proceso contrarrestando rápidamente los efectos.



I.II Elementos Básicos de un Sistema de Control

Como ya mencionamos en el capítulo anterior, los sistemas de control se aplican para los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones. Como todos los sistemas de control son sistemas híbridos de variables mecánicas y eléctricas, cuyas aplicaciones de los componentes electromecánicos cubren un amplio espectro, desde sistemas de control para robots y rastreadores de estrellas, hasta electrodomésticos y controles de posición del disco duro en una computadora, o el control de motores DC en sistemas de aire acondicionado para instalaciones industriales y residenciales, por lo tanto abordaremos el detalle sobre los elementos básicos de un sistema de control, como primera instancia en el desarrollo de esta investigación.

Los sistemas de control automático, tienen su aplicación en el control de procesos ya sea a nivel residencial o industrial, a fin de mantener controladas ciertas variables como la temperatura, la humedad, la viscosidad, la presión, entre otras. Mantener estas variables estables es el objetivo del sistema de control. Cuyos elementos básicos son los siguientes: (Martinez, 2018)

- ✓ Transductor (Sensor/Transmisor).
- ✓ Controlador.
- ✓ Actuador.

La importancia de estos componentes radica en que estos realizan las tres operaciones básicas que deben estar presentes en todo sistema de control; estas operaciones, respectivamente, son:

Medición: la medición de la variable que se controla se hace generalmente mediante la, combinación de sensor y transmisor.



Decisión: con base en la medición, el controlador decide qué hacer para mantenerla variable en el valor que se desea.

Acción: como resultado de la decisión del controlador se debe efectuar una, acción en el sistema, generalmente ésta es realizada por el elemento final de control.

Estas tres operaciones son forzosas para todos los sistemas de control. La toma de decisión puede realizarse con un sistema de control en lazo abierto o en lazo cerrado.

I.II.I El Actuador

El actuador es un dispositivo que transforma la energía hidráulica, neumática o eléctrica para realizar una función que genera un efecto sobre un proceso. El actuador recibe la señal desde un controlador y en función a ella activa un elemento final de control; por ejemplo, una válvula.

Existen principalmente distintos tipos de actuadores según el tipo de señal de control que se emplee, entre ellos:

Eléctricos. En este actuador, su principal señal de control es la energía eléctrica.

Neumáticos. La señal de control de este tipo de actuar es el aire.

Hidráulicos. La señal de control es un fluido, normalmente algún tipo de aceite mineral.

Electrónicos. La electrónica de potencia permite controlar la alimentación de otros equipos, la velocidad y el funcionamiento de máquinas eléctricas, con el empleo de dispositivos electrónicos, tales como los semiconductores.



I.II.II El Transductor

El transductor es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal. Es decir, este dispositivo toma una variable de entrada y produce una salida de otra naturaleza.

Los transductores se clasifican por dos funciones:

a. En función de sus características estructurales

Directos: Se colocan directamente en contacto con el punto cuya variable se va a medir.

Indirectos: Se sitúan alejados del punto de medición, pero se comunican con éste mediante una línea de transmisión con una terminal situada en el espacio cuya variable deseamos medir.

b. En función de su comportamiento

Activos: Los traductores activos son aquellos transductores que no requieren suministro de energía para operar.

Pasivos: Los traductores pasivos son aquellos transductores que si requieren suministro de energía para operar.

I.II.III El Controlador

En la industria se utilizan controladores cuya función es comparar la variable de proceso medida de una causa física con un valor de referencia de entrada, de determinar la desviación y es producir una señal de control que reduce es el error a un valor aproximado a cero.

La manera en la cual el controlador ejecuta la señal de control se denomina acción de control. El controlador detecta la señal de error, generalmente dada en un nivel de potencia muy bajo, y la amplifica a un nivel lo suficientemente alto. La salida de un controlador alimenta a un actuador. Se clasifican según sea su acción de control:



De dos posiciones o acción de encendido- apagado. En este tipo de control en lazo cerrado la acción de control puede tomar una de las dos posiciones en relación al error, abierto o cerrado, con una alta impedancia.

Acción proporcional. El sistema de control proporcional se basa en establecer una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control.

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{Kp}{S^2 + S + Kp}$$

Ecuación No. 1: Acción proporcional.

Fuente: <https://www.isamex.org>

Acción integral. El control integral basa su funcionamiento en accionar un elemento de control a una velocidad constante, hasta conseguir eliminar la desviación. La velocidad de accionamiento será proporcional al error del sistema existente.

Acción proporcional-integral. El Control Proporcional Integral decremento el tiempo de subida, incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización, y tiene el efecto de eliminar el error de estado estable, pero empeorará la respuesta transiente.

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{Kps + Ki}{S^3 + S^2 + KpS + Ki}$$

Ecuación No. 2: Acción proporcional-integral.

Fuente: <https://www.isamex.org>



Acción proporcional-derivativa. En la regulación derivada, la acción de control será proporcional a la velocidad de cambio de la variable controlada. Así, el elemento final de control sufrirá un mayor o menor recorrido dependiendo de la velocidad de cambio del error del sistema.

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{KDs + Kp}{S^2 + KDs + Kp}$$

Ecuación No. 3: Acción proporcional-derivativa.

Fuente: <https://www.isamex.org>

Acción proporcional-integral-derivativo. Es un mecanismo de control por realimentación que emplea la suma de las acciones de control proporcional, integral y derivativo, por este motivo este control es el más empleado en el control de procesos industriales.

$$\frac{X(S)}{F(S)} = \frac{K_D S + K_p + K_i}{S^3 + K_D S^2 + K_p S + K_i}$$

Ecuación No. 4: Acción proporcional-integral-derivativo.

Fuente: <https://www.isamex.org>



Hipótesis y variables

La pregunta de la investigación sería: ¿Están estandarizados los diseños de sistemas de control electromecánicos en el país?, como hipótesis tenemos: la estandarización de los diseños de sistemas de control electromecánicos se logra haciendo uso de un método secuencial sencillo, las variables en este caso serían: las diferentes normas electrotécnicas y los artículos de las mismas, que se pueden utilizar en el diseño de sistemas de control electromecánicos y los diferentes equipos y componentes que se pueden seleccionar para estos sistemas.



Metodología de desarrollo de la investigación

Para llegar a establecer el método de diseño, selección y aplicación para los sistemas de control electromecánicos aplicado a motores de corriente directa y de corriente alterna, primeramente estudiamos la teoría básica de funcionamiento de los sistemas de control electromecánico, para luego establecer los parámetros y criterios de diseño teórico y las normativas aplicables en su diseño, selección y aplicación para resolver los problemas relacionados ya sea a nivel industrial, comercial u otro.

Luego de conocer estos principios básicos de funcionamiento de los sistemas de control electromecánico, identificamos los criterios técnicos para el dimensionamiento y desarrollo e implementación de los sistemas de control electromecánicos.

Como parte del estudio realizado establecimos las normas técnicas nacionales o internacionales aplicables al diseño de los sistemas de control electromecánico.

Se establecieron cada una de las etapas de diseño de un sistema de control electromecánico y los criterios de evaluación técnico-económica que se sugieren deben aplicarse para optimizar el diseño a implementar.

Se realiza modelado y simulación, para el caso particular de estudio de la investigación, se hace uso del software de simulación para sistemas de control electromecánicos, CADE SIMU V3.0.

Y finalmente desarrollamos la propuesta del método a implementar para el diseño, selección y aplicación para un sistema de control electromecánico que garantice la operación del sistema de control electromecánico de forma segura, óptima y eficaz, bajo criterios de evaluación técnico-económica de implementación.



Debido a lo descrito anteriormente, la investigación que se presenta según su enfoque metodológico, se adscribe a un diseño cuantitativo experimental, con lógica deductiva de carácter secuencial explicativo. (Hernandez Sampieri)



Capítulo 1.- Parámetros, Normas y criterios de evaluación para los Sistemas electromecánicos.



1.1 Parámetros y Normas aplicables

Los sistemas electromecánicos surgen de la combinación de distintas áreas del conocimiento, como el electromagnetismo, la electrónica, la electricidad y la mecánica.

De forma sencilla, un sistema electromecánico puede describirse mediante un diagrama de bloques como el siguiente:



Figura No. 10: Diagrama de bloques sistema electromecánico.

Fuente: <https://www.instrumentacionycontrol.net/>

Donde:

1. Entradas: Son sensores que introducen la información necesaria para el sistema y transforman una magnitud física en una señal eléctrica.
2. Unidad de Control: procesa la información, enviada por los sensores de entrada, conforme a determinados procesos de cálculo matemáticos (algoritmos de control y regulación) y activan los elementos de salida o actuadores mediante señales eléctricas.
3. Salidas: reciben las órdenes enviadas por la unidad de control y ejecutar tareas concretas. Transforman una corriente eléctrica de mando en movimiento, calor, luz, etc.



El diseño de un sistema electromecánico, que como ya mencionamos es una combinación de distintas áreas del conocimiento, se rige bajo los principios y leyes que gobiernan: el electromagnetismo, la electrónica, la electricidad y la mecánica, por lo que con el paso de los años se han desarrollado diferentes normas, como las que mencionaremos a continuación.

1.2 Normas de seguridad para instalaciones eléctricas

Por lo tanto, se aplican las normas internacionales NFPA 70 (Norma de Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo, es una norma de consenso general de la National Fire Protection Association, que refleja muchos años de experiencia de importantes participantes de la industria en general para reducir riesgos y accidentes de trabajo), la norma ISO 9001-2000 de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y a nivel nacional el Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (CIEN), hay que mencionar que el CIEN se base en la NFPA 70.

La norma de seguridad que se usa en nuestra región es la NFPA 70, por lo que haremos mención de los artículos que se usan en instalaciones eléctricas de sistemas de control electromecánico:

- **Artículo 110** – Requisitos para instalaciones eléctricas.
- **Artículo 336** — Cables de fuerza y control para bandeja tipo TC (tray cable).
 - **336.80 Ampacidad.** La ampacidad de los cables tipo TC se debe determinar de acuerdo con 392.80(A) para conductores con calibre 14 AWG y más grandes, de acuerdo con 402.5 para conductores con calibre 18 AWG a 16 AWG cuando se instalan en bandejas porta cables, y con 310.15 cuando se instalan en una canalización o como cable soportado por mensajero.
- **Tabla 392.10(A)** se encuentran todos los métodos de cableado con su correspondiente artículo, mencionare los de mayor uso:
 - **Artículo 358** - Tubería metálica eléctrica: Tipo EMT.



- **Artículo 342** - Conduit metálico intermedio: Tipo IMC
- **Artículo 356** - Conduit no metálico flexible hermético a los líquidos: Tipo LFNC
- **Artículo 400.5** – Ampacidad para cordones flexibles y cables flexibles.
- **Artículo 409** – Tableros de control industrial.
 - **Artículo 409.20 - Conductor – calibre y ampacidad mínimos.** El calibre del conductor de alimentación del tablero de control industrial debe tener una ampacidad no menor que el **125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga** de todas las cargas de calefacción, **más el 125 por ciento del valor nominal de corriente de plena carga del motor con valor nominal más alto**, más la suma de los valores nominales de corriente de plena carga de todos los otros motores y aparatos conectados, basados en su ciclo de trabajo, que puedan estar en funcionamiento al mismo tiempo.
- **Artículo 430** – Motores, circuitos de motores y controladores.
 - **Artículo 430.6** - Determinación de la ampacidad y del valor nominal de los motores.
 - **Artículo 430.6 (2)** – Valores de la placa característica. La protección independiente contra sobrecargas de un motor se debe basar en el valor nominal de corriente de la placa característica del motor.
 - **Tabla 430.52** Valor nominal o ajuste máximos de los dispositivos de protección contra cortocircuito y falla a tierra para circuitos ramales de motores, para los distintos motores incluyendo el de jaula de ardilla, En porcentaje de la corriente de plena carga
 - **Artículo 430.87** Numero de motores alimentados por cada controlador. Cada motor debe tener su propio controlador individual. Revisar artículo para ver excepciones.
 - **Tabla 430.250** Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna.

En los anexos informativos que están al final del código se presentan las siguientes tablas:

- **Tabla B.310.15(B)(2)(1)** Ampacidades de dos o tres conductores aislados, de 0 a 2000 volts nominales, con un recubrimiento general (cable multiconductor) en una canalización al aire libre, con base en una temperatura ambiente a 30 °C (86 °F).
- **Tabla C.1** Número máximo de conductores o cables de artefactos situados en tubería eléctrica metálica (EMT).
- **Tabla C.4** Número máximo de conductores o cables de artefactos situados en conduits metálicos intermedios (IMC).



1.3 Principales Normas Electrotécnicas

Todos los sistemas de control se ven regulados por las normas electrotécnicas, las cuales se encargan de especificar, unificar los equipos y materiales utilizados en un sistema de control. Además de esto tenemos la aplicación de la simbología correspondiente a los diagramas de conexión de los sistemas de control.

Dentro de los esquemas de circuitos eléctricos, un aspecto muy importante de las normas es el de conseguir dar una información suficiente, clara, sencilla, de criterios constantes y contrastada por personas competentes y responsables, que permita un rápido intercambio de información obteniendo una comprensión unívoca de concepto y terminología.

En estas normas se especifica la forma de preparar la documentación electrotécnica. Estas normas fomentan los símbolos gráficos y las reglas numéricas o alfanuméricas que deben utilizarse para identificar los aparatos, diseñar los esquemas y montar los cuadros o equipos eléctricos. El uso de las normas internacionales elimina todo riesgo de confusión y facilita el estudio, la puesta en servicio y el mantenimiento de las instalaciones.

Las principales normas electrotécnicas vigentes a nivel internacional, se resumen en la siguiente figura No.11.



AEE	Asociación Electrotécnica Española
ANSI	Instituto de normalización nacional de U.S.A.
BS	Prescripciones británicas
CENELEC	Comité europeo para la normalización electrotécnica
DIN	Normas alemanas para la industria
IEC	Comisión electrotécnica internacional
JIS	Prescripciones japonesas
NEMA	Asociación de fabricantes de productos eléctricos U.S.A.
UNE	Una norma española
UTE	Asociación electrotécnica francesa
VDE	Asociación electrotécnica alemana
CNE	Código Nacional de Electricidad (Perú)

Figura No. 11: Normas electrotécnicas.

Fuente: <https://www.instrumentacionycontrol.net/>

A nivel de Nicaragua, la norma aplicable es la norma ANSI y la norma IEC, por lo que mencionaremos artículos medulares de estas 2 normas a continuación:

1.3.1 Norma internacional IEC.

- **La norma internacional IEC 61082:** preparación de la documentación usada en electrotecnia.
 - **IEC 61082-1 (diciembre de 1991):** Parte 1: requerimientos generales (editada solo en inglés).
 - **IEC 61082-2 (diciembre de 1993):** Parte 2: orientación de las funciones en los esquemas. (editada solo en inglés).
 - **IEC 61082-3 (diciembre de 1993):** Parte 3: Esquemas, tablas y listas de conexiones. (editada en inglés y español).
 - **IEC 61082-4 (marzo de 1996):** Parte 4: Documentos de localización e instalación. (editada en inglés y español).
- La norma europea **EN 60617** aprobada por la **CENELEC** (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) y la norma española armonizada con la anterior (UNE EN 60617), así como la norma internacional de base para las dos anteriores (**IEC 60617**) o (CEI 617:1996), definen los SÍMBOLOS



GRÁFICOS PARA ESQUEMAS: (todas ellas editadas en inglés y español). Por lo que al mencionar a continuación los artículos de la norma EN 60617 es como que estuviéramos hablando de la norma **IEC 60617**.

- **EN 60617-2 (junio de 1996):** Parte 2: Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general.
- **EN 60617-3 (junio de 1996):** Parte 3: Conductores y dispositivos de conexión.
- **EN 60617-4 (julio de 1996):** Parte 4: Componentes pasivos básicos.
- **EN 60617-5 (junio de 1996):** Parte 5: Semiconductores y tubos de electrones
- **EN 60617-6 (junio de 1996):** Parte 6: Producción, transformación y conversión de la energía eléctrica.
- **EN 60617-7 (junio de 1996):** Parte 7: Aparatos y dispositivos de control y protección.
- **EN 60617-8 (junio de 1996):** Parte 8: Aparatos de medida, lámparas y dispositivos de señalización.
- **EN 60617-12 (diciembre de 1997):** Parte 12: Elementos lógicos binarios.
- **EN 60617-13 (febrero de 1998):** Parte 13: Operadores analógicos.
- **La norma internacional IEC 60445 (octubre de 1999)** Versión Oficial en español - Principios fundamentales y de seguridad para la interfaz hombre máquina, el marcado y la identificación. Identificación de los bornes de equipos y de los terminales de ciertos conductores designados, y reglas generales para un sistema alfanumérico.

Ahora hablaremos un poco de algunas definiciones de la norma que se aplican aquí:



✓ **Referenciado de bornas de conexión de los aparatos:**

Las referencias que se indican son las que figuran en las bornas o en la placa de características del aparato. A cada mando, a cada tipo de contacto, principal, auxiliar instantáneo o temporizado, se le asignan dos referencias alfanuméricas o numéricas propias.

❖ **Contactos principales de potencia:**

La referencia de sus bornas consta de una sola cifra:

- De 1 a 6 en aparatos tripolares.
- De 1 a 8 en aparatos tetrapolares.

Las cifras impares se sitúan en la parte superior y la progresión se efectúa en sentido ascendente y de izquierda a derecha.

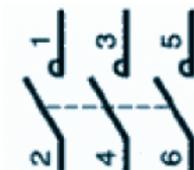


Figura No. 12: Contactos de potencia.

Fuente: EN 60617-2

❖ **Contactos auxiliares**

Las referencias de las bornas de contactos auxiliares constan de dos cifras:

La primera cifra (cifra de las decenas) indica el nº de orden del contacto en el aparato. Dicho número es independiente de la disposición de los contactos en el esquema. El número 9 (y el 0, si es necesario) quedan reservados para los contactos auxiliares de los relés de protección contra sobrecargas (relés térmicos), seguido de la función 5 - 6 ó 7 - 8.



La segunda cifra (cifra de las unidades) indica la función del contacto auxiliar:

1 - 2 = Contacto de apertura (normalmente cerrado, NC).

3 - 4 = Contacto de cierre (normalmente abierto, NA).

5 - 6 = Contacto de apertura (NC) de función especial (temporizado, de disparo de un relé de prealarma, etc.).

7 - 8 = Contacto de cierre (NO) de función especial (temporizado, de disparo de un relé de prealarma, etc.).

Ejemplo:

bornas 11 y 12 = 1er contacto (función NC).

bornas 23 y 24 = 2º contacto (función NA).

bornas 35 y 36 = 3er contacto (función temporizada NC).

bornas 47 y 48 = 4º contacto (función temporizada NA).



Figura No. 13: Contactos auxiliares.

Fuente: EN 60617-2

❖ Mandos de control (bobinas)

Las referencias son alfanuméricas. En primer lugar, se escribe una letra y a continuación el número de borna.

Para el control de un contactor de una sola bobina = A1 y A2.

Para el control de un contactor de dos devanados = A1 y A2 para el 1er devanado y B1 y B2 para el segundo devanado.



Figura No. 14: Bobinas de control.

Fuente: EN 60617-2

✓ Referenciado de bornas de los borneros

Se deben separar las bornas de conexión en grupos de bornas tal que como mínimo queden dos grupos; uno para los circuitos de control y otro grupo para los circuitos de potencia. Cada grupo de bornas (denominado regletero) se identificará con un nombre distinto con un código alfanumérico cuya primera letra siempre será 'X' seguida por un número identificador del grupo (Ej.: X1, X2, X3, etc.).

❖ **circuitos de control**

En cada grupo de bornas, la numeración es creciente de izquierda a derecha y desde 1 hasta 'n'. Por norma, no se debe referenciar la borna con el mismo número que el hilo conectado en ella (a menos que coincidan por circunstancias de la serie de numeración de los hilos).

Ejemplo:

Regletero X1: nº de bornas = 1,2,3,4,5,6,7, 8... n

Regletero X2: nº de bornas = 1,2,3,4,5,6,7, 8...n



❖ **circuitos de potencia**

De conformidad con las últimas publicaciones internacionales, se utiliza el siguiente referenciado:

- Alimentación tetrapolar: L1 - L2 - L3 - N - PE (3 fases, neutro y tierra).
 - Alimentación tripolar: L1 - L2 - L3 - PE (3 fases y tierra).
 - Alimentación monofásica simple: L - N - PE (fase, neutro y tierra).
 - Alimentación monofásica compuesta: L1 - L2 - PE (2 fases y tierra).
 - Salidas a motores trifásicos: U - V - W - (PE)* ó K - L - M - (PE)*.
 - Salidas a motores monofásicos: U - V - (PE)* ó K - L - (PE)*.
 - Salidas a resistencias: A - B - C, etc.
- * (PE) solo si procede por el sistema de conexión de tierra empleado.

1.3.2 Norma Norteamericana ANSI.

La norma de símbolos NEMA es recogida y estandarizada como norma americana por ANSI. A demás de la simbología también es diferente en el referenciado de la alimentación de los circuitos, como se muestra a continuación:

En la norma IEC se usa (L1, L2, L3).

En la norma ANSI se usa (R, S, T).

En el anexo, de este documento se han incluido las tablas de la simbología según normas internacionales, en este caso para Nicaragua se aplica la norma ANSI e IEC.



1.4 Criterios de Evaluación

En todo proyecto, los componentes eléctricos se identifican por medio de un código definido en las normas. La identificación de cada elemento debe ser la misma a lo largo de todo el proyecto, e incluso debe figurar también en el aparato una vez montado.

Por ser un sistema integrado el sistema de control, el cual comprende equipos y componentes, del tipo eléctrico, electrónico y mecánicos a fin de controlar variables mecánicas y eléctricas, de acuerdo al tipo de aplicación para el sistema de control, los criterios de evaluación abarcan criterios técnicos y económicos tales como:

Técnicos:

- Robustez y funcionalidad de cada equipo o componente.
- Selección de voltaje y frecuencia de cada equipo o componente.
- Condiciones de trabajo de cada equipo o componente.
- De fácil adquisición en el mercado local.

Económicos:

Costos de inversión óptimos.

Ventajas de ahorro en su funcionalidad.



Capítulo 2.- Modelado y Simulación de sistemas de control electromecánicos.



Se puede definir el modelado de un determinado proceso como la obtención de un conjunto de funciones matemáticas que permiten representar, al menos de forma aproximada, el comportamiento de las variables de mayor interés del sistema bajo estudio.

2.1 Modelo matemático.

En este caso el sistema de control electromecánico se modela a partir de las relaciones entre las distintas variables del sistema, correspondiente a una estructura matemática (ecuaciones).

Estos modelos se basan principalmente en las leyes de la electricidad y el electromagnetismo, llegándose a establecer las ecuaciones de modelo a partir de un modelo de circuito ya sea eléctrico o electromagnético.

La construcción del modelo sigue las siguientes etapas de construcción:

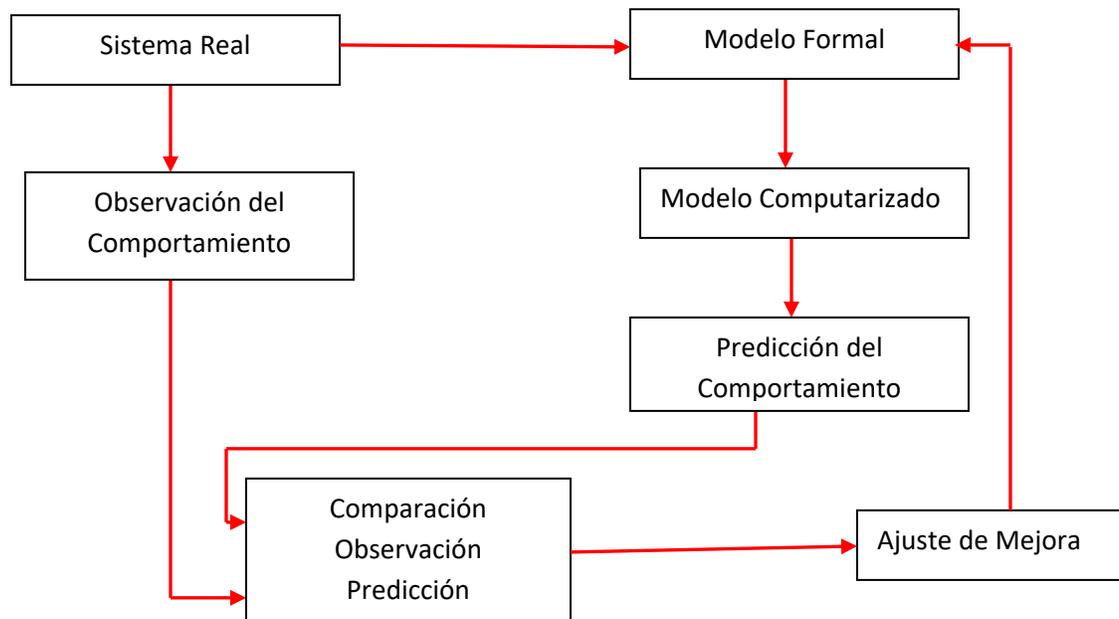


Figura No. 15: Etapas de construcción del modelo de control electromecánico.

Fuente: Modelo de sistema de control automático. Univ. de Málaga.



Este esquema tiene la finalidad de aplicar las leyes de la electricidad y el magnetismo al proceso a simular.

Veamos un ejemplo práctico para el caso de un motor de corriente directa controlado por armadura, representado por el siguiente diagrama de circuito:

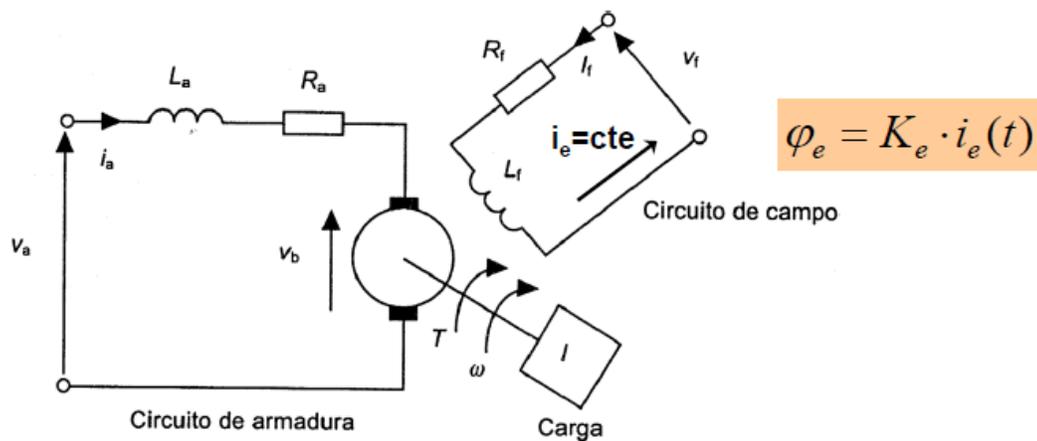


Figura No. 16: Motor CD controlado por armadura.

Fuente: (Ingeniería-UNAM, 2018).

Donde el flujo de campo del devanado de excitación es constante, ya que $i_e = cte$.

Cuya ecuación de flujo ϕ_e es proporcional a la corriente de excitación i_e , y se describe como:

$$\phi_e = K_e \times i_e(t).$$

Ecuación No. 5: Flujo de campo.

Fuente: (Ingeniería-UNAM, 2018)



Donde la fuerza electromagnética inducida U_i es igual a:

$$U_i = K_e \times \phi_e \times \omega.$$

Ecuación No. 6: Fuerza electromagnética inducida.

Fuente: (Ingeniería-UNAM, 2018)

Donde:

U_i : Fem inducida.

ω : Veloc. De rotación en radianes por segundo.

En el caso del par electromecánico M , este es proporcional a la corriente por armadura.

$$M = K' \times \phi_e \times I_a.$$

$$M = K \times I_a.$$

Ecuación No. 7: Par electromagnético.

Fuente: (Ingeniería-UNAM, 2018)



Siendo su modelo de circuito eléctrico:

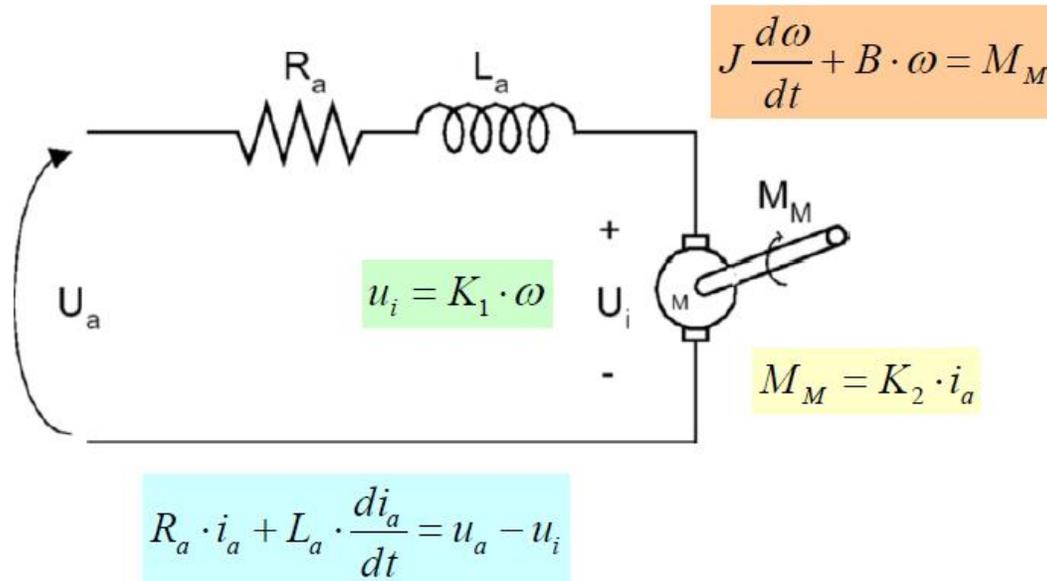


Figura No. 17: Modelo de circuito eléctrico motor de CD.

Fuente: (Ingeniería-UNAM, 2018)

2.2 Simulación de un sistema de control.

Los Sistemas Electromecánicos, están compuestos por una serie de elementos y componentes dentro de los cuales tenemos: relé, relés de tiempo, botones, motores, interruptores, sistemas electrónicos como controladores lógicos programables, arrancadores, variadores de frecuencia y velocidad y algunos sistemas mecánicos básicos.

Comercialmente existen varios softwares computacionales para la simulación de un sistema de control electromecánico, en el cual se obtiene el comportamiento del sistema bajo las siguientes variables:



- ✓ Representación detallada del sistema de control
- ✓ Diagrama unifilar
- ✓ Simulación paso a paso de la secuencia de operación del sistema de control
- ✓ Simulación de enclavamientos lógicos entre dispositivos de control y contactos.
- ✓ Cálculo del voltaje y corriente de operación del dispositivo
- ✓ Modelado de la carga del dispositivo
- ✓ Alertas de violación para el voltaje de operación, la corriente y la tensión de arranque
- ✓ Lógica incorporada entre dispositivos de control y contactos
- ✓ Múltiples fuentes para un sistema de control
- ✓ Modelado seleccionable por el usuario del dispositivo de protección y resistencia de contacto
- ✓ Ajuste de temperatura de resistencia de la bobina/solenoide
- ✓ Ajuste de la longitud del cable/alambre
- ✓ Cálculo de descarga de batería usando diagramas de control de secuencia de operación.

Uno de los softwares que se utilizan para la simulación de un sistema de control electromecánico es el Math Lab y el Simulink.

Tanto el MATLAB como el Simulink sirven para crear modelos de sistemas precisos a partir de librerías de motores, electrónica de potencia, sensores y cargas. Estos aprovechan las técnicas de diseño de control lineal clásicas, como diagramas de Bode y del lugar geométrico de las raíces.

En Simulink, se pueden realizar simulaciones de lazo cerrado en condiciones de funcionamiento normales y anormales para diseñar los controladores de corriente y velocidad.



En la figura No.18, se muestra el modelado de un motor de CD, realizado con simulink.

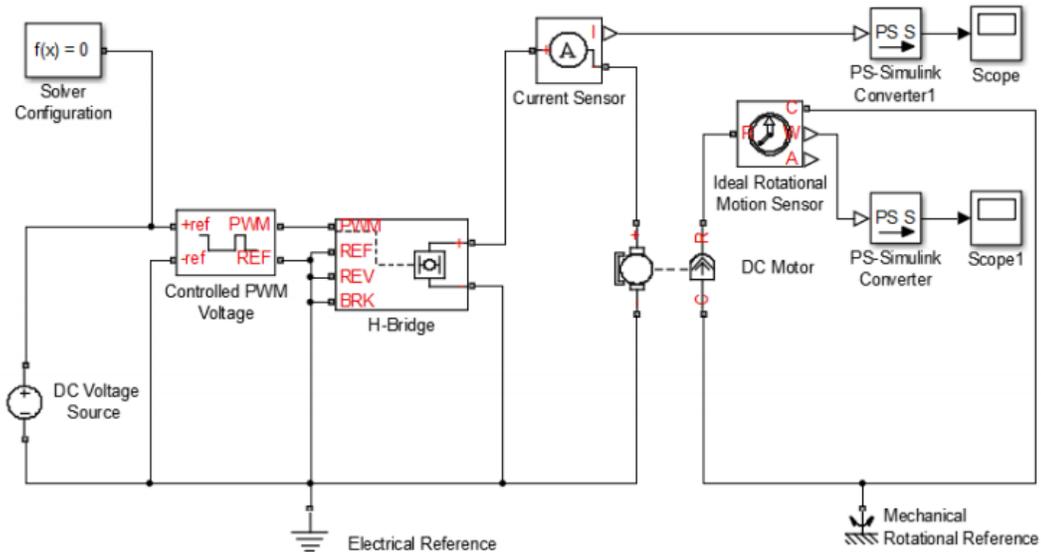


Figura No. 18: Modelado de un motor CD

Fuente: <http://ute-mecatronica.blogspot.com/>.

2.3 Simulación de circuito de fuerza y control, para sistema de llenado y suministro de diésel con bomba

Al realizar una simulación, debemos de tener en cuenta que es una predicción aproximada del comportamiento del sistema, debido a que en los simuladores se dispone de componentes genéricos, los cuales no tienen todos los contactos auxiliares y disposición de la bobina de control y fuente de alimentación, como veremos en el ejemplo presentado en esta investigación, donde el arrancador suave del simulador no es idéntico al arrancador suave seleccionado en la realidad.

A continuación, en la figura No. 19 presentamos el sistema en el simulador CADE SIMU, lo más parecido al sistema diseñado en la realidad correspondiente al ejemplo del capítulo 3.



El archivo de simulación del sistema creado en CADE SIMU, se adjuntará en un CD-ROM junto con la aplicación CADE SIMU, y con el archivo en Excel de la evaluación financiera del ejemplo desarrollado en la presente investigación.

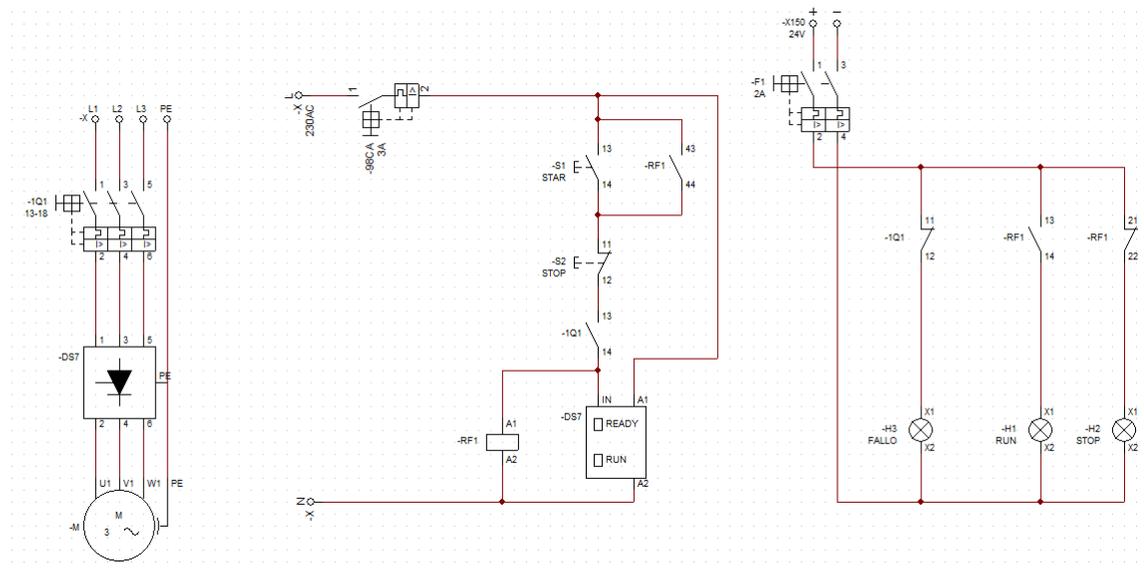


Figura No. 19: Sistema de control en CADE SIMU.

Fuente: Fuente Propia.

En la figura No. 19, podemos ver que el arrancador suave no cuenta con el contacto auxiliar TON, que posee el Eaton DS7 seleccionado en la realidad, por lo que la bobina del relé repetidor de señal RF1 se conecta en paralelo con la señal de control de entrada del arrancador suave.

El contacto TON está vinculada a la curva de operación del motor que crea el arrancador suave en el circuito de fuerza, con el circuito de control a través de TON, al no poseer este contacto en el simulador se debe de crear la condición de enclavamiento, para que el circuito de control se desenergice al cambiar la posición de contacto auxiliar del guardamotor (13-14), ya que al abrirse el guardamotor por sobrecarga, cortocircuito o maniobra manual, también se abre el contacto auxiliar de retención del relé repartidor de señal RF1 (43-44).



Capítulo 3.- Aplicación del método de diseño, selección y aplicación de los sistemas electromecánicos.



3.1 Método de Diseño.

Método básico de diseño de control electromecánico. El método básico de diseño de todos los sistemas de control electromecánicos práctico, entraña la obligada aplicación de procedimientos para determinar sistemáticamente los componentes necesarios para realizar el objetivo propuesto del control electromecánico a implementar.

Existen muchas aplicaciones en la industria y el comercio para los sistemas de control electromecánico, dentro de estos podemos mencionar:

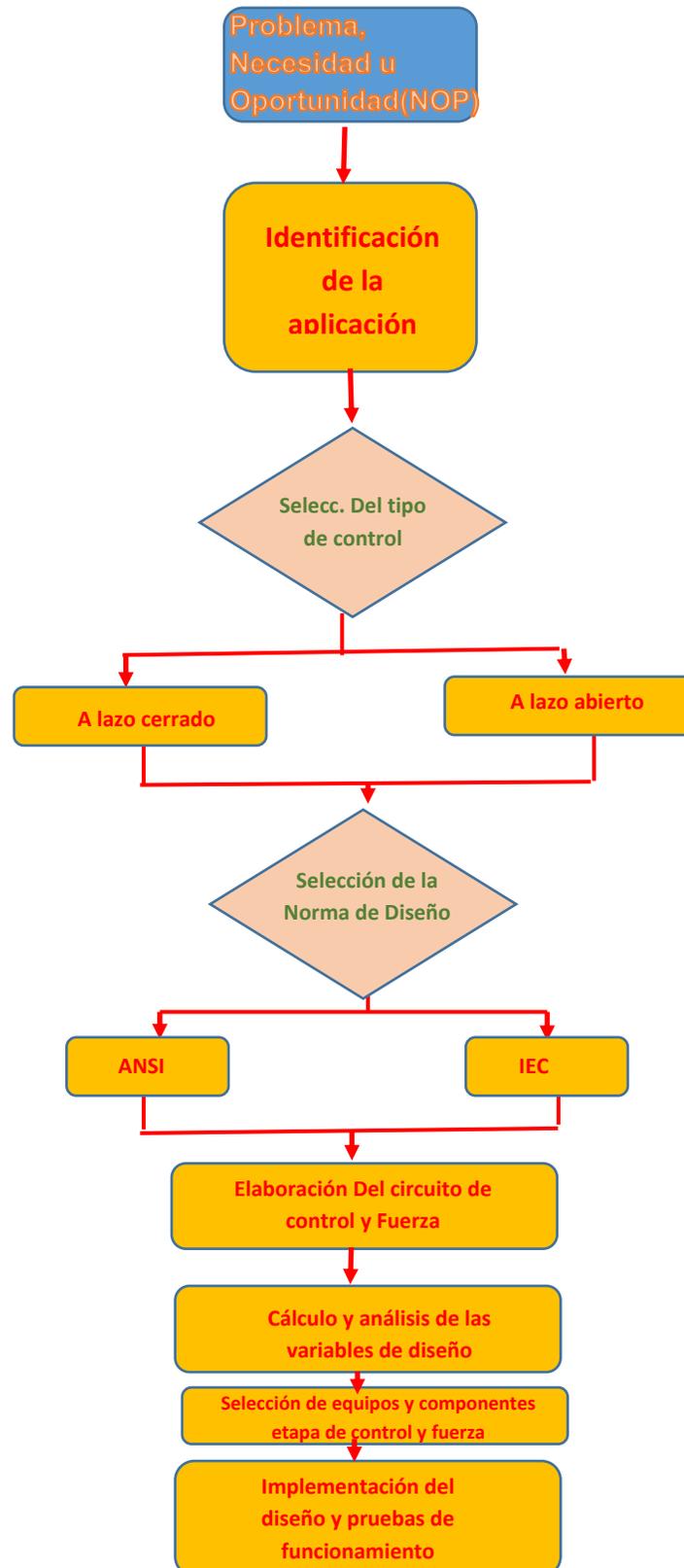
1. Los sistemas de control automático para mediciones de parámetros eléctricos.
2. Los sistemas de control automático para mediciones térmicas.
3. Los sistemas de control automático para control de velocidad y frecuencia de motores.
4. Los sistemas de control automático para mediciones de parámetros mecánicos.
5. Los sistemas de control automático para mediciones de fluidos y gases.
6. Los sistemas de control automático para mediciones de parámetros en procesos químicos.

El método específico de diseño propuesto es el del siguiente diagrama de flujo.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

Figura No. 20: Diagrama de flujo de diseño de un sistema de control electromecánico
Fuente: Diseño propio.





3.2 Selección y aplicación de los sistemas de control electromecánicos.

Selección:

Los sistemas de control electromecánicos realizan operaciones de control con verificación y en algunos casos, dependiendo de las características de los sistemas, regulación.

En los sistemas, la señal de salida puede o no afectar al rendimiento del sistema. Por esta razón, el primer aspecto a considerar en la selección y aplicación de un sistema de control electromecánico es su funcionamiento ya sea a lazo abierto o a lazo cerrado.

Si la señal de salida no afecta al funcionamiento de todo el sistema, entonces podemos seleccionar un funcionamiento del sistema de control electromecánico a lazo abierto. Ejemplo control de carga de baterías.

Y para aquellos sistemas de control electromecánicos en que se requiere modificar la señal de entrada en función de la señal de salida, elegiremos un sistema de control electromecánico a lazo cerrado. Ejemplo el control de frecuencia de un motor AC.

También se selecciona la norma a usar, si se utilizara ANSI o IEC de acuerdo a las condiciones preexistentes, las cuales se mencionan específicamente en el capítulo 1 de esta investigación.

Aplicación:

Los sistemas de control electromecánicos tienen muchas aplicaciones a nivel residencial, comercial e industrial. Estas incluyen áreas como la aeroespacial, los procesos químicos y biológicos, los sistemas mecánicos, eléctricos, agroindustria, industria de procesos y manufactura, aplicaciones automovilísticas, etc.



Son tan comunes a nivel residencial, en aplicaciones como el microondas, control de temperatura de sistemas de aire acondicionado, etc.

Para llevar a cabo la aplicación primero se debe pasar por la elaboración del circuito de fuerza y control, por el cálculo y análisis de las variables del diseño, la selección de los equipos y componentes, y por último la implementación y aplicación del diseño producido a partir de seguir los pasos del diagrama de flujo de la figura No. 20.

3.3 Ejemplos de aplicación de sistemas de control electromecánicos.

Algunas de las aplicaciones básicas cotidianas de los sistemas de control electromecánicos se muestran en las siguientes figuras:

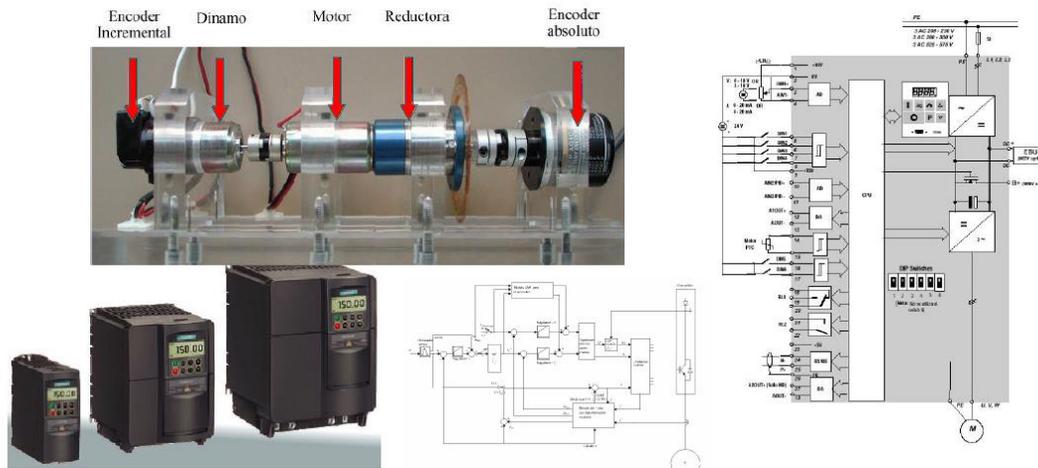


Figura No. 21: Control de velocidad y posición de motores eléctricos.

Fuente: Curso de Regulación Automática. Universidad de Oviedo.



CONTROL DE TEMPERATURA EN UN HORNO (todo/nada)

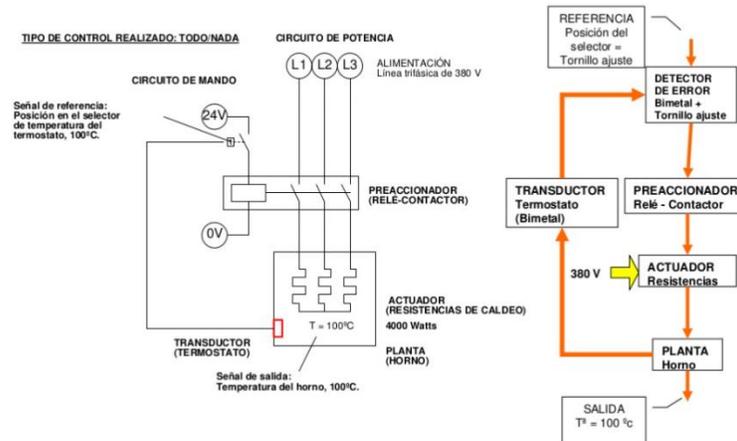


Figura No. 22: Control de Temperatura.

Fuente: Curso de Regulación Automática. Universidad de Oviedo.

CONTROL DEL CAUDAL EN UNA TUBERÍA

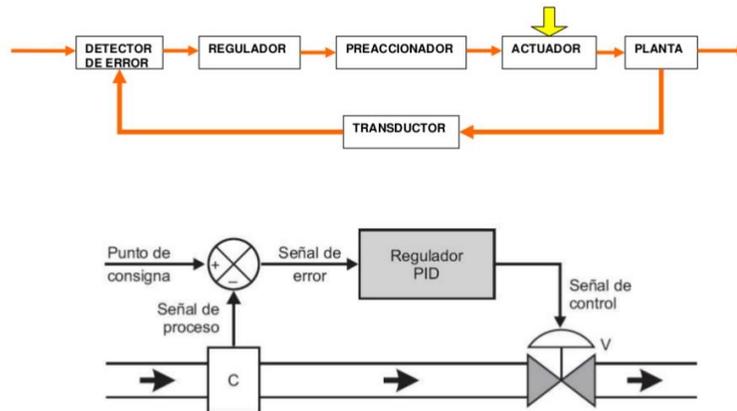


Figura No. 23: Control de caudal de una tubería.

Fuente: Curso de Regulación Automática. Universidad de Oviedo.



3.4 Aplicación del método de diseño y selección del sistema de control electromecánico.

Para la implementación del método de diseño, utilizaremos un caso particular de una aplicación de bomba de llenado para el suministro de diésel.

Conforme lo especificado en el acápite 3.1 de esta investigación, realizaremos los pasos de la figura No. 20, indicadas en el diagrama de flujo para el diseño del sistema de control electromecánico para la bomba de llenado para el suministro de diésel, que corresponde al diseño del sistema de control y fuerza para esta aplicación.

En este caso el primer paso que corresponde a la identificación de la aplicación para el sistema de control electromecánico, ha sido determinada: **“Diseño de un sistema de control y fuerza, para llenado y suministro de diésel mediante el uso de una bomba”**.

El segundo paso que corresponde a la selección del tipo de sistema de control, en el cual se debe definir si es a lazo abierto o a lazo cerrado, para el caso del ejemplo de aplicación, la bomba de llenado de suministro de diésel, como el surtidor de diésel se programa por volumen a llenar, en el cual no hay retroalimentación con el tanque de llenado, el tipo de sistema de control es a **lazo abierto**.

El tercer paso del método de implementación es la selección de la norma de diseño, ya sea la norma ANSI o la norma IEC. La selección de uno u otra norma depende de la estandarización con el resto de aplicaciones ya existentes, por lo cual se puede escoger cualquiera de las dos. En este caso para este ejemplo utilizaremos la norma IEC para los circuitos de control y fuerza, mencionados en el capítulo 1.



El cuarto paso es la elaboración de los circuitos de control y fuerza del sistema de control, en este caso la bomba de llenado de diésel, estos se presentan en los siguientes diagramas (figura No.24, figura No.25 y figura No. 26).



ALIMENTACION BOMBA DE SUMINISTRO DE DIESEL

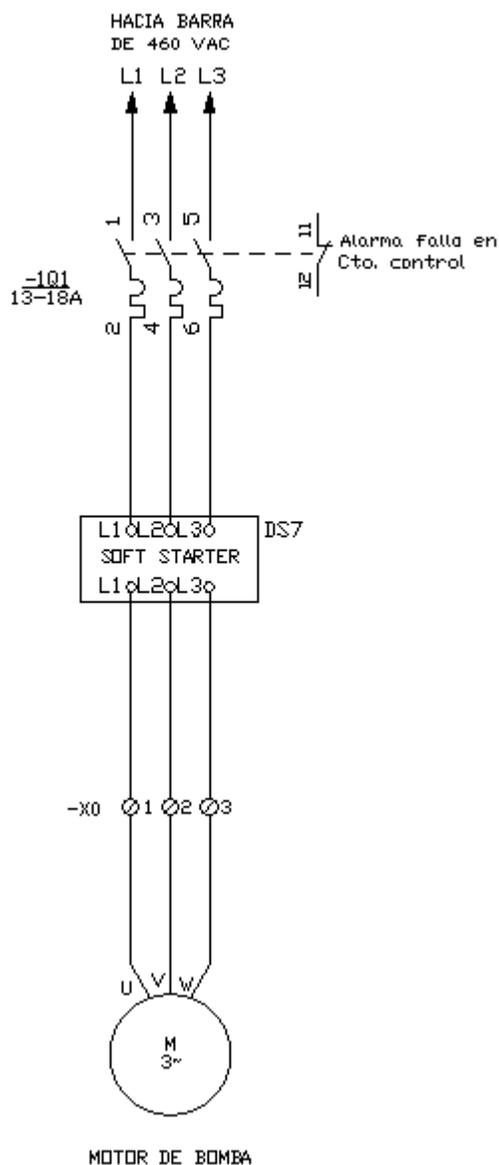


Figura No. 24: Circuito de fuerza bomba de llenado de diésel.

Fuente: Diseño propio implementado en Albageneración.

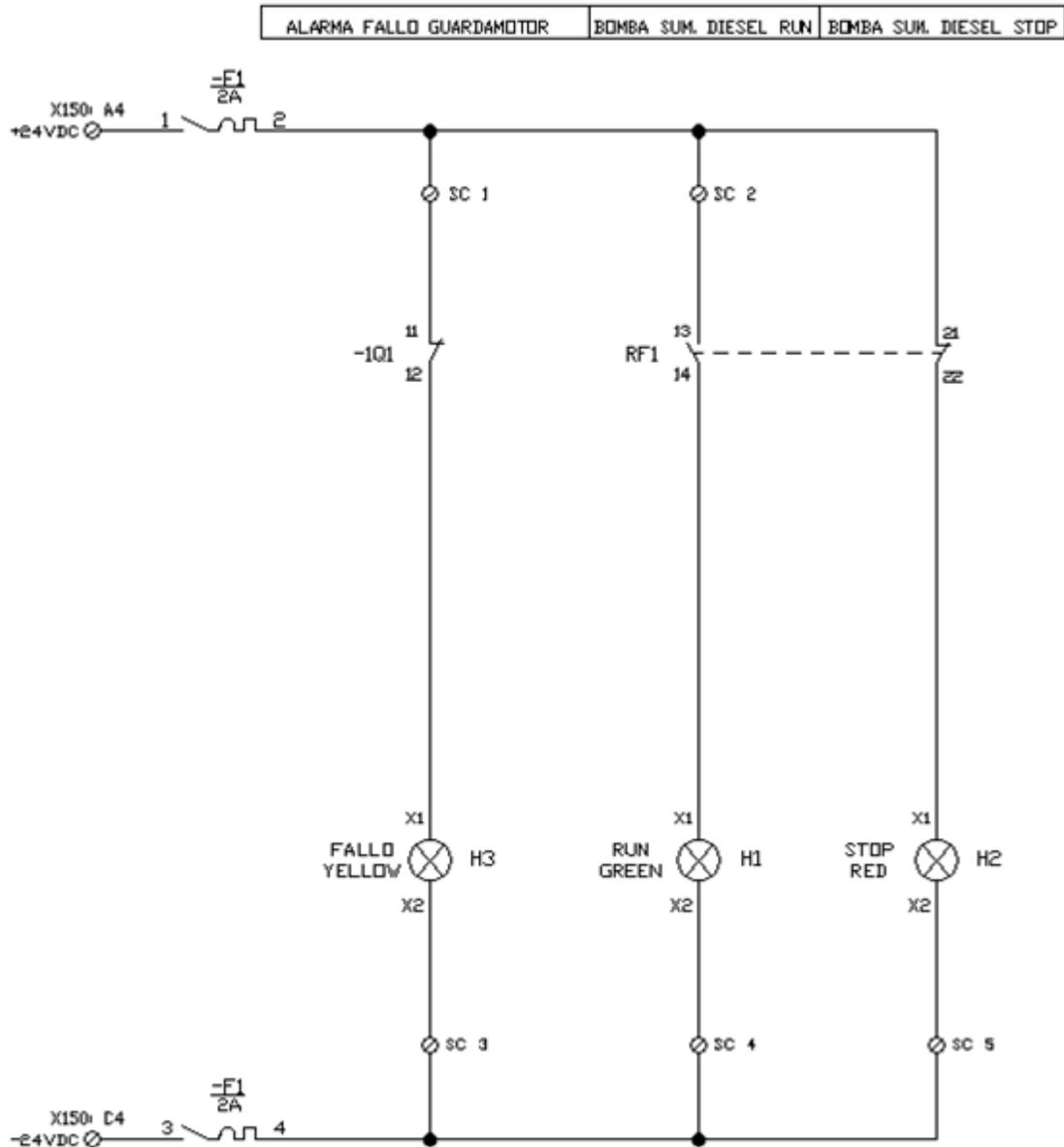


Figura No. 26: Esquema de señalización y fallo del guardamotor.

Fuente: Diseño propio implementado en Albageneración.

El quinto paso es el cálculo y análisis de las variables de diseño del sistema de control y fuerza para la bomba de llenado de diésel, en este caso para lograr diseñar estos circuitos se deben manejar el funcionamiento de los elementos, como, por ejemplo: el arrancador suave, los demás componentes son de uso



general como son el guardamotor, interruptores termomagnéticos, relé repetidor de señal y pulsadores, conocidos por la gran mayoría de los ingenieros.

Empezaremos primero por el cálculo de la corriente circulante por el motor para poder determinar los parámetros del guardamotor.

Como datos conocidos partimos de las características eléctricas del motor de la bomba, la cual es de 7.5KW o 10HP, 460 VAC 3 ϕ , 60Hz, FP = 0.85, eficiencia η = 88.9%. A partir de estos datos calculamos la corriente absorbida de la red mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times f \times p \times \eta}$$

Ecuación No. 8: Calculo de corriente a partir de potencia activa 3 ϕ .

Fuente: Maquinas eléctricas. Stephen J. Chapman.

$$I = \frac{7.5 \times 1000W}{\sqrt{3} \times 460V \times 0.85 \times 0.889} = 12.46 A$$

Una vez determinados los parámetros eléctricos anteriores, pasamos al paso seis que corresponde a la selección de los equipos y componentes de la etapa de fuerza y control. Empezaremos por el guardamotor.

El guardamotor es un interruptor magnetotérmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Este diseño especial proporciona al dispositivo una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobreintensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

De acuerdo al valor de la corriente calculada para el motor de la bomba (12.46A), se selecciona un guardamotor, de los proveedores conocidos, que regule de 13 a 18 Amperios, es decir que cubra la corriente de trabajo tomando en cuenta en los



cálculos un 25% más¹ (15.57 Amp.), considerando que la corriente de arranque del motor puede ser de 3 a 7 veces la corriente nominal del motor.

En la figura No. 20, se muestran los datos técnicos de un guardamotor de la empresa suministradora Revalco, modelo RV42018P, que cumple con los requerimientos de diseño.

- Rango de protección: 0.1~80A
- Poder de corte: 10...100kA (según regulación de intensidad)
- Protecciones:
 - Térmica (Sobrecorriente)
 - Magnética (Cortocircuito)
 - Fallo de fase
- Normativa internacional IEC60947-2 y IEC60947-4-1

RV420 / RV421



Intensidad (A)	kW en AC-3			Referencia	
	230V	400/415V	440V		
0,1...0,16	-	-	-	RV420P16	
0,16...0,25				RV420P25	
0,25...0,4				RV420P40	
0,4...0,63				RV420P63	
0,63...1					0,37
1...1,6		0,37	0,55	RV4201P6	
1,6...2,5	0,37	0,75	1,1	RV4202P5	
2,5...4	0,75	1,5	1,5	RV4204P	
4...6,3	1,1	2,2	3	RV4206P3	
6...10	2,2	4	4	RV42010P	
9...14	3	5,5	7,5	RV42014P	
13...18	4	9	9	RV42018P	
17...23	5,5	11	11	RV42023P	

Figura No. 27: Ficha técnica del guardamotor.

Fuente: <https://www.revalco.es/product-page/guardamotores>.

Los criterios de selección de los equipos y componentes del sistema de fuerza y control deben basarse en los criterios de obtención de estos en el mercado local, garantía de la marca seleccionada y por último el criterio económico de costos de adquisición. Así que pueden tenerse más de una marca de proveedor para los

¹ Según norma NFPA 70 (NEC 2017 en español), Artículo 409.20.



equipos y componentes, y deberán ser evaluados por estos criterios técnicos y económicos.

El segundo elemento a seleccionar es el contacto auxiliar del guardamotor, de acuerdo al circuito de diseño, se selecciona un bloque con 1 NO + 1 NC, según necesidades del diseño, en este caso se elige el contacto auxiliar lateral Referencia: RV420AN11, Marca: Revalco.

Accesorios



Compatible con serie	Descripción	Referencia	
	Contacto auxiliar frontal	1NO + 1NC	RV420AE11
		2NO	RV420AE20
	Contacto auxiliar lateral	1NO + 1NC	RV420AN11
		2NO	RV420AN20
	Contacto alarma	1 NO + 1NO	RV420AD1010
		1 NO + 1NC	RV420AD1001
		1 NC + 1NO	RV420AD0110
		1 NC + 1NC	RV420AD0101

Figura No. 28: Contacto auxiliar del guardamotor.

Fuente: <https://www.revalco.es/product-page/guardamotores>.

El tercer elemento a seleccionar es el arrancador suave, se selecciona uno con las características requeridas: 7.5KW, 16 Amp, 3 ϕ , 60 HZ, $U_c = U_s = 110/230$ V AC, Referencia: DS7-342SX016N0-N, Marca: Eaton.



Arrancadores suaves
DS7, Accesorios

Series Moeller®

	Intensidad asignada de empleo (AC-53)	Potencia asignada de motor 400 V	Potencia asignada de motor 480 V	U _c = U _s = 24 V AC/DC	U _c = U _s = 110/230 V AC	U _c = U _s = 24 V DC
	I _e (IEC) A	P kW	P HP	Referencia Código	Referencia Código	Referencia Código
Arrancadores suaves DS7 para cargas trifásicas						
	4	1,5	2	DS7-340SX004N0-N 134847	DS7-342SX004N0-N 134925	DS7-34DSX004N0-D 134943
	7	3	3	DS7-340SX007N0-N 134849	DS7-342SX007N0-N 134927	DS7-34DSX007N0-D 134945
	9	4	5	DS7-340SX009N0-N 134910	DS7-342SX009N0-N 134928	DS7-34DSX009N0-D 134946
	12	5,5	10	DS7-340SX012N0-N 134911	DS7-342SX012N0-N 134929	DS7-34DSX012N0-D 134947
	16	7,5	10	DS7-340SX016N0-N 134912	DS7-342SX016N0-N 134930	DS7-34DSX016N0-D 134948
	24	11	15	DS7-340SX024N0-N 134913	DS7-342SX024N0-N 134931	DS7-34DSX024N0-D 134949
	32	15	25	DS7-340SX032N0-N 134914	DS7-342SX032N0-N 134932	DS7-34DSX032N0-D 134950

Figura No. 29: Ficha técnica arrancador suave.

Fuente: <https://www.eaton.com>

El cuarto y el quinto elementos a seleccionar son los Interruptores termomagnéticos de control: Se selecciona uno de 1 polo, 3 Amp., Referencia: A9F74103, y uno de 2 polos, 2 Amp., Referencia: A9F74202, Marca: Schneider Electric.



Figura No. 30: Interruptores termomagnéticos.

Fuente: <https://www.se.com/>

El sexto elemento a seleccionar es el relé repetidor de señal: De acuerdo a necesidades se elige el siguiente relé con bobina de 230 VAC, 3 ϕ , Referencia: XTRE10B31B, Marca: Eaton.

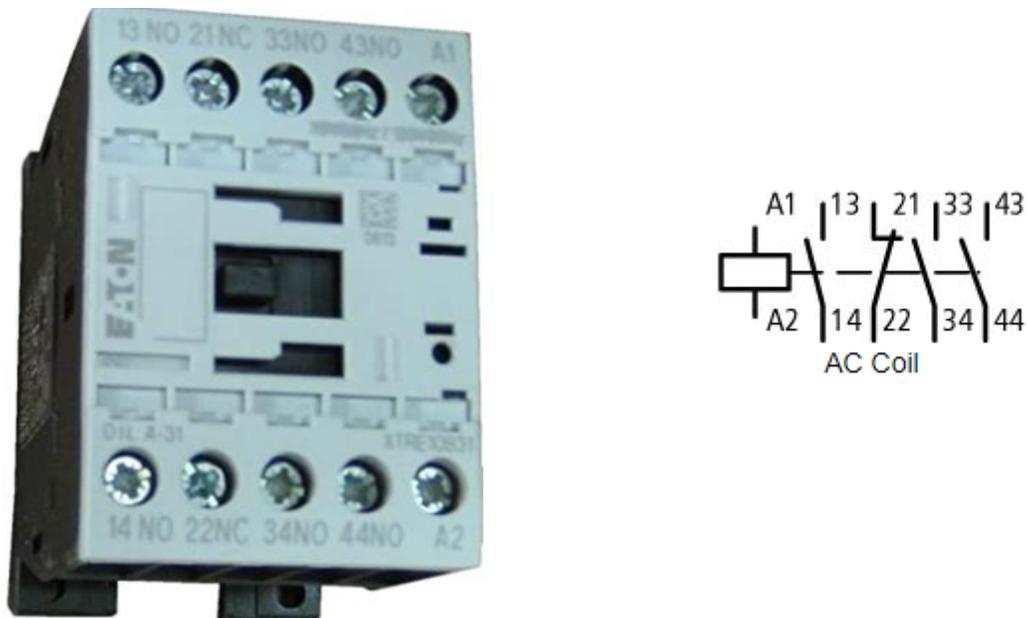


Figura No. 31: Relé repetidor de señal.

Fuente: <https://www.eaton.com>



El octavo elemento a seleccionar es el Pulsador verde (Arranque-RUN): Se selecciona pulsador verde sin retención con LED (24Vcc) y contacto auxiliar 1 NO, Referencia: XB4BA31, Marca: Schneider Electric.



Figura No. 32: Pulsador sin retención verde.

Fuente: <https://www.se.com/>

El noveno elemento a seleccionar es el Pulsador rojo de paro (Paro-STOP): Se selecciona pulsador rojo sin retención con LED (24Vcc) y contacto auxiliar 1 NO, Referencia: XB4BA42, Marca: Schneider Electric.



Figura No. 33: Pulsador sin retención rojo.

Fuente: <https://www.se.com/>



El décimo elemento a seleccionar es la bornera de paso para fuerza: Se selecciona borne de paso Phoenix contact (UT-10 WH), $U_n = 1000V$, $I_n = 57A$, tipo de conexión: Conexión por tornillo, número de conexiones: 2, sección: $0,5 \text{ mm}^2 - 16 \text{ mm}^2$, AWG: 20 - 6, anchura: 10,2 mm, color: blanco, clase de montaje: NS 35/7,5, NS 35/15, Referencia: 3046317.

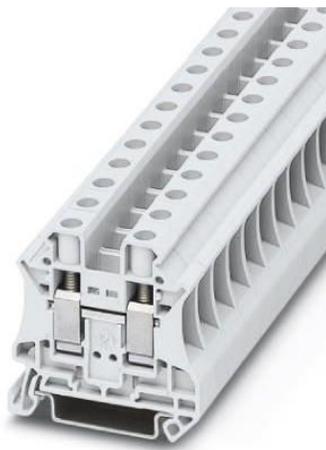


Figura No. 34: Bornera de paso de fuerza.

Fuente: <https://www.phoenixcontact.com>

El onceavo elemento a seleccionar es la bornera de paso de control: Se selecciona borne de paso Phoenix contact (UT-2.5), $U_n = 1000V$, $I_n = 24A$, tipo de conexión: Conexión por tornillo, número de conexiones: 2, sección: $0,14 \text{ mm}^2 - 4 \text{ mm}^2$, AWG: 26 - 12, anchura: 5,2 mm, altura: 46,9 mm, color: gris, clase de montaje: NS 35/7,5, NS 35/15, Referencia: 3044076.



Figura No. 35: Bornera de paso de control.

Fuente: <https://www.phoenixcontact.com>

El doceavo elemento a seleccionar es el cable flexible multifilar: Se selecciona cable para circuito de fuerza # 10 AWG o 6 mm² y cable para circuito de control # 14 AWG o 1.5 mm², con sus terminales punta hueca pre-aisladas correspondientes.

3.5 Aplicación del sistema de control electromecánico.

Con todo el diseño y selección de elementos correspondientes realizado, antes del montaje de los equipos, se recomienda hacer una prueba de laboratorio de los equipos para verificar su correcto funcionamiento, esto es para la mayoría de los diseños, sin embargo para verificar el correcto funcionamiento del arrancador suave se debe hacer en el campo o donde este ubicada la bomba, ya que el arrancador suave verifica el cierre de las tres fases a través de los devanados del motor, como se puede ver en la figura No. 36.



Siempre hay que tener en cuenta que, en el momento de montaje y puesta en marcha final, pueden surgir cambios de último momento para adaptar todos los elementos y así funcionen como se requiere y espera.

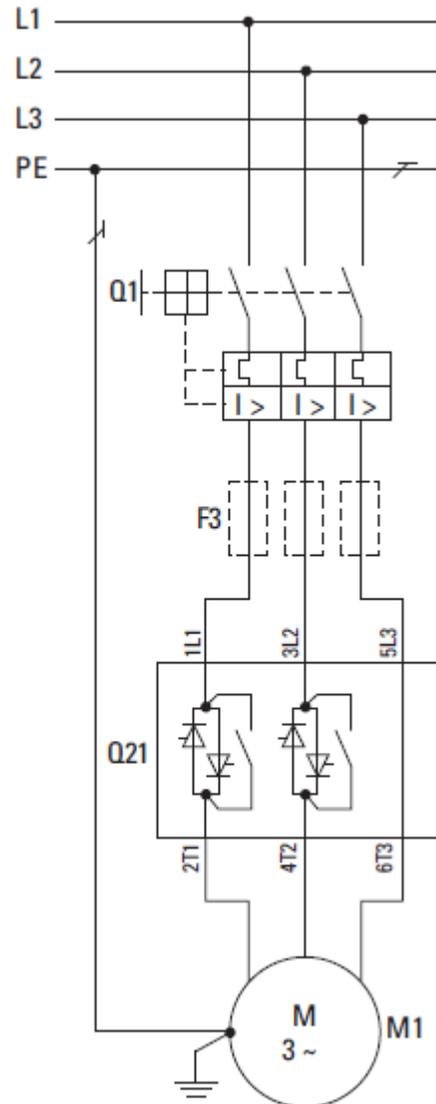


Figura No. 36: Circuito de aplicación del sistema de control.

Fuente: <https://www.eaton.com>



Capítulo 4.- Evaluación Técnico – Económica para la implementación del método de diseño, selección y aplicación de un sistema electromecánico.



4.1 Evaluación Técnico – Económica de la implementación del método de diseño de un sistema electromecánico.

Para hacer la evaluación técnica de la implementación de un sistema electromecánico, se realizan las siguientes actividades:

Conocer la aplicación objeto del sistema electromecánico: Se lleva a cabo una recopilación de información en campo sobre el diseño, equipos, diagramas técnicos, descripción de procesos y datos de operación donde se implementará el sistema electromecánico.

Una vez realizadas e implementadas las etapas de diseño del sistema de control electromecánico, conforme el diagrama de flujo de la figura No.20. Se realizará la selección óptima de equipos y materiales tanto para el sistema de control y fuerza. Evaluando la funcionabilidad de los equipos, operatividad y vida útil.

Para el caso de la evaluación económica, se considerarán los aspectos costos de inversión, ahorros en los procesos de aplicación del sistema de control electromecánico.



"Método de diseño, Selección y Aplicación para Sistemas de Control Electromecánico"

En este caso consideramos los costos de inversión del sistema de control electromecánico, reflejados en la tabla No.1

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio US\$	Precio total US\$
Guardamotor	1	UND	\$ 186.41	\$ 186.41
Contacto auxiliar del guardamotor	1	UND	\$ 65.40	\$ 65.40
Arracador suave	1	UND	\$ 1,809.70	\$ 1,809.70
Interruptor termomagnético 1 polo 3A	1	UND	\$ 171.57	\$ 171.57
Interruptor termomagnético 2 polo 2A	1	UND	\$ 182.45	\$ 182.45
Rele repetidor de señal - bobina 230VAC	1	UND	\$ 600.00	\$ 600.00
Pulsador color verde sin retención	1	UND	\$ 68.60	\$ 68.60
Pulsador color rojo sin retención	1	UND	\$ 75.31	\$ 75.31
Bornera de paso Phoenix Contact UT-10	10	UND	\$ 28.26	\$ 282.60
Bornera de paso Phoenix Contact UT-2.5	20	UND	\$ 21.54	\$ 430.80
Cable flexible multifilar color negro calibre 6 mm ²	1	CAJA-100 MTS	\$ 103.22	\$ 103.22
Cable flexible multifilar color negro calibre 1.5 mm ²	1	CAJA-100 MTS	\$ 75.84	\$ 75.84
Cable multifilar TSJ 3x6mm ²	50	METROS	\$ 8.99	\$ 449.50
Mano de obra	3	Técnicos	\$ 800.00	\$ 2,400.00
			Total:	\$ 6,901.40

Tabla No. 1: Costos de inversión del sistema electromecánico.

Fuente: Fuente propia.

Según datos obtenidos en el abastecimiento el costo de un mantenimiento se desglosa a como muestra tabla No. 2.

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio C\$	Precio C\$ Total	Precio US\$
Sello mecánico bomba	1	UND	4273.85	4273.85	\$ 121.92
Rodamientos	2	UND	3335.58	6671.16	\$ 190.31
Grasa LGMT 2/0.4	1	CARTUCHO 420 ml	3586.01	3586.01	\$ 102.30
Barniz aislante para devanados	1	CUBETA	24000	24000	\$ 684.66
Desengrasante electroquímico	1	GALON	750	750	\$ 21.40
Desengrasante Penzol	1	GALON	650	650	\$ 18.54
Desengrasante QFD 40	1	GALON	500	500	\$ 14.26
Molicote	1	Bote	1716.43	1716.43	\$ 48.97
Silicon para alta temperatura	1	UND	170.72	170.72	\$ 4.87
Aflojatodo	1	14 Onz.	165	165	\$ 4.71
Hilaza	8	LIBRAS	7.6	60.8	\$ 1.73
Paste rojo industrial	3	UND	33.75	101.25	\$ 2.89
Tape dieléctrico	1	UND	67.69	67.69	\$ 1.93
Mano de obra	2	Técnicos	1266.67	2533.34	\$ 72.27
			Total:	45246.25	\$ 1,290.77

Tabla No. 2: Costos por mantenimiento.

Fuente: Fuente propia.



En donde se realizaban 3 mantenimientos al año antes del proyecto debo a averías en la bomba o motor de la misma y con proyecto ejecutado solo se realiza un mantenimiento al año, a continuación, se presenta tabla No. 3 con los costos con proyecto y sin proyecto.

Descripcion	Cantidad de mtto. Al año	Costo mtto.
Sin proyecto	3	\$ 3,872.30
Con proyecto	1	\$ 1,290.77
Ingresos por MTTO.		\$ 2,581.53

Tabla No. 3: Costos en mantenimiento anual con y sin proyecto.

Fuente: Fuente propia.

Ahora presentaremos tabla No.4 donde se calcula energía en KWh/año y potencia activa (Watts), considerando que la corriente de arranque sin proyecto es de 4 veces la corriente nominal y la corriente de arranque con proyecto la promediamos igual a la corriente nominal.

No. Arranques año	Corriente de arranque (A)	Tiempo (SEG)	Voltaje (V)	F.P	Eficiencia	Potencia (W)	Energia KWh/año
231	49.84	5	460	0.85	88.90%	21920.62992	7.032868766
231	12.46	5	460	0.85	88.90%	5480.15748	1.758217192

Tabla No. 4: Calculo de energía y potencia activa con y sin proyecto.

Fuente: Fuente propia

La tabla No. 5 muestra la tarifa industrial mayor binomia T-5, vigente al 1 de mayo de 2021, usada para cálculo de costos de operación e ingresos por facturación.

Tarifa Industrial Mayor Binomina T-5	
Costo C\$/KWh	Costo C\$/KW-mes
5.855	644.9271

Tabla No. 5: Tarifa industrial mayor binomia T-5.

Fuente: <https://www.ine.gob.ni/>



La siguiente tabla No. 6 muestra los costos por facturación con y sin proyecto, haciendo uso de las tarifas de la tabla No. 5 y los datos de potencia y energía de la tabla No. 4.

Sin proyecto		
Costo C\$/KWh	Costo C\$/KW-mes	Costo C\$/KW-año
41.17744663	14137.20829	169646.4994
	Total C\$:	169687.6769
	Total US\$:	\$ 4,840.78

Con Proyecto		
Costo C\$/KWh	Costo C\$/KW-mes	Costo C\$/KW-año
10.29436166	3534.302071	42411.62486
	Total C\$:	42421.91922
	Total US\$:	\$ 1,210.19

Tabla No. 6: Calculo de costos en facturación con y sin proyecto.

Fuente: Fuente propia

Ahora con base en la tabla No. 6 presentamos los costos de operación con proyecto, para considerarlo en la evaluación financiera, y los ingresos por facturación, que es el resultado de a la facturación sin proyecto restarle la facturación con proyecto, que se muestra en la tabla No. 7.

Costos de operación	\$	1,210.19
Ingreso por facturación	\$	3,630.58

Tabla No. 7: Costos de operación e ingreso por facturación.

Fuente: Fuente propia



Y por último presentamos su correspondiente evaluación financiera reflejada en la tabla No.8, evaluada mediante el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

EVALUACION FINANCIERA						
DESCRIPCION	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS POR FACTURACION ENERGETICA		\$ 3,630.58	\$ 3,630.58	\$ 3,630.58	\$ 3,630.58	\$ 3,630.58
INGRESOS POR MANTENIMIENTO		\$ 2,581.53	\$ 2,581.53	\$ 2,581.53	\$ 2,581.53	\$ 2,581.53
INGRESOS TOTALES		\$ 6,212.12	\$ 6,212.12	\$ 6,212.12	\$ 6,212.12	\$ 6,212.12
COSTOS DE OPERACIÓN POR FACTURACION ENERGETICA		\$ 1,210.19	\$ 1,210.19	\$ 1,210.19	\$ 1,210.19	\$ 1,210.19
COSTOS DE MANTENIMIENTO		\$ 1,290.77	\$ 1,290.77	\$ 1,290.77	\$ 1,290.77	\$ 1,290.77
COSTOS TOTALES		\$ 2,500.96	\$ 2,500.96	\$ 2,500.96	\$ 2,500.96	\$ 2,500.96
DEPRECIACION		\$ 1,380.28	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO		\$ 2,330.88	\$ 2,330.88	\$ 2,330.88	\$ 2,330.88	\$ 2,330.88
IMPUESTO		\$ 349.63	\$ 349.63	\$ 349.63	\$ 349.63	\$ 349.63
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTO		\$ 1,981.24	\$ 1,981.24	\$ 1,981.24	\$ 1,981.24	\$ 1,981.24
DEPRECIACION		\$ 1,380.280	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28	\$ 1,380.28
VALOR DE DESECHO						0
INVERSION INICIAL	\$ 6,901.40					
FNE	-\$6,901.40	\$3,361.52	\$3,361.52	\$3,361.52	\$3,361.52	\$3,361.52
VAN	\$1,285.83	VAN>0, ES RENTABLE				
TIR	39%	TIR > TASA DE DESCUENTO (30%), ES RENTABLE				
R(B/C)	1.2	R(B/C), RELACION BENEFICIOS/COSTOS > 1 ES RENTABLE				
PRI	3 AÑOS	SE RECUPERA LA INVERSION EN 3 AÑOS				
VAI	\$15,130.04	VALOR ACTUAL DE INGRESOS				
VAC	\$12,992.66	VALOR ACTUAL DE COSTOS				

Tabla No. 8: Flujo neto económico del sistema electromecánico.

Fuente: Fuente propia

Donde se ha considerado una tasa de descuento del 30%, ya que esta es la tasa de descuento con la que trabaja Planta MAN debido a todos sus inconvenientes financieros, hay que tener presente que esta tasa de descuento es fijada por las instituciones financieras al momento de realizar un préstamo.

Para tener referencia de cómo se calcula la tasa de descuento lo haremos a continuación, a partir de la tasa de interés anual fijada por el banco central, que es del 10.43 % vigente al mes de mayo de 2021. (Banco central de Nicaragua, 2021)



$$d = \frac{i}{(1 + i)}$$

Ecuación No. 9: Calculo de tasa de descuento.

Fuente: <https://economipedia.com/definiciones/tasa-descuento.html>

$$d = \frac{0.1043}{(1 + 0.1043)} \times 100 = 9.44\%$$

Donde:

d: Tasa de descuento

i: Tasa de interés anual.

Sin embargo, no hacemos uso de esta tasa de descuento calculada, solo es un cálculo de referencia para ser usado en proyectos de otras empresas o bien sea impuesta la tasa de descuento por la institución financiera.

Este flujo neto económico lo hacemos para un período de evaluación del proyecto de cinco años, lo cual lo define el formulador y evaluador del proyecto.

Como resultado se obtuvo un valor actual neto VAN de \$ 1285.83, el cual es mayor que cero y refleja la rentabilidad del proyecto. Lo cual quiere decir que la empresa en cuestión se vuelve 1285.83 \$ más rico con la implementación de este sistema de control electromecánico.

En el caso de la tasa interna de retorno se obtuvo un valor del 39%, valor que es superior al 30% de la tasa de descuento, por lo cual se considera un proyecto rentable.



La relación beneficios/costos es de 1.2, ósea $R(B/C) > 1$, es decir, es rentable.

$$R(B/C) = VAI/VAC$$

Periodo de recuperación de la inversión PRI = 3 años.

La cuota de depreciación según el artículo 57 del reglamento de la Ley 453 (Ley de concertación tributaria) establece que, para proyectos considerados industrial en general, específicamente en otras maquinarias y equipos, el porcentaje de depreciación anual es del 20%, es decir, que al transcurrir 5 años todos los elementos que entran en esta categoría ya se devaluaron el 100%. (Presidente de la Republica de Nicaragua, 2003)



Capítulo 5.- Resultados obtenidos de la investigación, método de diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico.



5.1 Resultados de la investigación.

En este capítulo resumimos todos los resultados obtenidos en esta investigación, así como los resultados de la evaluación técnico-financiera de la implementación del método de diseño, selección y aplicación para un sistema de control electromecánico.

Los resultados se resumen a continuación:

1. Para el diseño, selección y aplicación de un sistema de control electromecánico, se requiere dominar los conceptos relacionados con las teorías básicas de sistemas eléctricos y electromagnetismo.
2. También se requiere un dominio de conocimiento sobre las aplicaciones donde se pueden implementar los sistemas.
3. Las aplicaciones de los sistemas de control electromecánicos están presentes tanto a nivel residencial, comercial como industrial, desde aplicaciones sencillas hasta complejas.
4. La implementación de un sistema de control electromecánico, permite no sólo resolver y automatizar procesos sino también la utilización de la energía eléctrica de forma segura y eficiente, garantizando además la seguridad de las personas, bienes y propiedades.
5. Si se utiliza el método de diseño propuesto en esta investigación, para la implementación de un sistema de control electromecánico, se garantizará la operación óptima de dicho sistema de control electromecánico y el cumplimiento a las normas de diseño nacionales e internacionales.
6. Se determina que, en función de la aplicación concreta del sistema de control electromecánico, estos pueden ser a lazo abierto o a lazo cerrado.



7. La implementación de un sistema de control electromecánico se puede regir bajo las normas ANSI e IEC, esto depende de las condiciones de diseño preexistentes en el sitio de aplicación.

8. Dentro de los criterios de evaluación para un sistema de control electromecánico, están los criterios técnicos y los criterios económicos. Los criterios técnicos están relacionados a criterios como: robustez, funcionabilidad de los equipos y componentes, la selección del voltaje y frecuencia del sistema de control y fuerza, el ambiente de trabajo del sistema de control y la facilidad de la adquisición de compra en el mercado local. En cuanto a la evaluación de los criterios económicos, estos tienen que ver con la rentabilidad de la implementación del sistema de control.



Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

- Que la finalidad de este proyecto de titulación, para establecer un método de diseño, selección y aplicación para sistemas de control electromecánico aplicados a motores de corriente directa y de corriente alterna, utilizados en procesos industriales, manufactura, comercios y aplicaciones en electrodomésticos, basados en criterios de diseño integral (normalizado y con criterios de evaluación técnico-económico) permite garantizar la operación óptima de dicho sistema de control electromecánico y el cumplimiento a las normas de diseño nacionales e internacionales.
- De acuerdo a artículos citados correspondientes a la norma NFPA 70 se establecen las normas de seguridad para instalaciones eléctricas, canalización, tipos de montaje y métodos de cableado.
- Se establecen parámetros y criterios técnicos para el cálculo de la corriente del conductor y protección del tablero de control y el mismo motor, en un valor de 125% de la corriente nominal de la carga según NFPA 70 - artículo 409.20.
- Se seleccionaron y establecieron los artículos específicos para electrotecnia correspondientes a las normas ANSI e IEC, desde la simbología empleada, la numeración de las bornas de los contactos de fuerza, contactos auxiliares y bobinas de mando, y la nomenclatura de los alimentadores tripolares, tetrapolares, monofásico simple, monofásico compuesto y salida de los motores.



- Se debe seleccionar entre norma electrotécnica ANSI o IEC, según las condiciones preexistentes en la instalación.
- Se seleccionan los equipos de acuerdo a criterios técnicos establecidos con el uso de las normas y teoría de ingeniería eléctrica, en coordinación con los costos y la fácil adquisición de estos equipos en el comercio local.
- Se realiza evaluación financiera para determinar la rentabilidad del proyecto, sujeto a consideraciones técnico-económicas, a través del cálculo del valor actual neto, tasa de interés de retorno, relación beneficio costos y periodo de recuperación de la inversión.

Recomendaciones

Recomendamos:

- Seguir con el estudio de las normas de seguridad para instalaciones eléctricas NFPA 70, para adaptarse a las distintas condiciones y distintos sistemas que se vayan a desarrollar.
- Familiarizarse con todos los artículos de las normas electrotécnicas ANSI e IEC, para agilizar y garantizar el desarrollo de los esquemas y documentación pertinentes al sistema de control electromecánico que se esté elaborando, para que la comprensión del diseño sea accesible a cualquier especialista o principiante en la materia de sistemas de control.
- Incursionar en el uso de simuladores como CADE SIMU para sistemas de control electromecánicos en conjunto con PLC, y simuladores de programación de control programable lógico PLC como MICROWIN, para alcanzar el entendimiento sobre la materia de sistemas de control automatizados y todos los elementos que intervienen en estos.



- Considerar como un nuevo tema monográfico, la implementación de este método, selección y aplicación de sistemas de control electromecánico, haciendo uso de una base de datos de un proveedor específico para las diferentes aplicaciones como variador de frecuencia, arrancador suave, etc., ya sea con Microsoft Excel, Visual Basic u otra similar.



Bibliografía

- 1) Banco central de Nicaragua. (Mayo de 2021). *www.bcn.gob.ni*. Obtenido de https://www.bcn.gob.ni/estadisticas/monetario_financiero/financiero/tasas_interes/particulares/tasa_particulares_vigente.pdf
- 2) Benjamin, & Kuo, C. (2007). *Sistemas de Control Automatico* (Séptima Edición ed.). Prentice Hall. Obtenido de <https://dademuchconnection.files.wordpress.com/2017/07/sistemas-de-control-automatico-benjamin-c-kuo.pdf>
- 3) Carrillo, A. J. (s.f.). *Sistemas Automáticos de Control Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado*.
- 4) Diccionario Oxford. (s.f.). *lexico.com*. Obtenido de <https://www.lexico.com/es/definicion/metodo>
- 5) Dorf, R. B. (2000). *Sistemas de control moderno*.
- 6) Facultad de Ingenieria, Univ. de Buenos Aires. (s.f.). *materias.fi.uba.ar*. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/6509/Sistemas%20electromec%20E1nicos%2026-03-07.pdf>
- 7) Fernández, L. M., Bullón, S. G., & Quirós, C. B. (2000). *Ingeniería de control. Modelado, análisis y control de sistemas*. Ariel.
- 8) Gerez Greiser Víctor, M. L. (1972). *Teoría de sistemas y circuitos*. En *Gerez Greiser Víctor, Murray Lasso*. . Representaciones y Servicios de Ingeniería, México DF.
- 9) Gourishankar V., (. C. (s.f.). Gourishankar V., (1975). *Conversión de la Energía Electromecánica., Representaciones y Servicios de Ingeniería, México DF*. Gourishankar V., (1975). *Conversión de la Energía Electromecánica., Representaciones y Servicios de Ingeniería, México DF*.
- 10) Hernandez Sampieri, R. (s.f.). *Metodologia de la Investigacion* (6ta Edición ed.). Mc Graw Hill.
- 11) Ingenieria-UNAM, F. d. (2018). *www.redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/404/40458316005/html/index.html>



- 12) Martínez, K. (Octubre-Diciembre de 2018). Conceptos básicos: Sistemas de control. *InTech México Automatización*. Obtenido de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de-control/>
- 13) Ogata, K. (2010). Ogata, Katsuhiko, (2010) "Introducción a los sistemas de control". Madrid.
- 14) Presidente de la República de Nicaragua. (Junio de 2003). <http://www.oas.org/>. Obtenido de http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic3_nic_regl_ley_equi_fiscal.pdf
- 15) S.L, C. L. (2020). Obtenido de <https://clr.es/blog/es/variadores-de-velocidad/>
- 16) Universidad Mar de la Plata, A. (s.f.). Obtenido de <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>
- 17) Valenzuela, A. (s.f.). www.academia.edu. Obtenido de https://www.academia.edu/38597820/UNIDAD_2_SISTEMAS_DE_CONTROL_2.1.-INTRODUCCI%C3%93N_2.2.-CONTROL_ELECTROMEC%C3%81NICO_2.3.-CONTROL_ELECTR%C3%93NICO_2.4.-CONTROL_POR_ORDENADOR_2.1.-INTRODUCCI%C3%93N_1.1._Qu%C3%A9_es_el_control_autom%C3%A1tico



ANEXO I

Simbologías ANSI e IEC



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
1.1	Corriente continua.	— ≡	= IEC	= IEC
1.2	Corriente alterna.	~	= IEC	= IEC
1.3	Corriente continua o alterna (universal).	— ~	= IEC	= IEC
1.4	Corriente alterna monofásica. P. ej.: 60 Hz.	1 ~ 60 Hz	= IEC	1 PHASE 2 WIRE 60 CYCLE
1.5	Corriente alterna trifásica. P. ej.: 380 V 60 Hz.	3 ~ 60 Hz 380 V	= IEC	3 PHASE 3 WIRE 60 CYCLE 380 V
1.6	Corriente alterna trifásica con conductor neutro. P. ej.: 380 V 60 Hz.	3N ~ 60 Hz 380 V	= IEC	3 PHASE 4 WIRE 60 CYCLE 380 V
1.7	Corriente alterna trifásica con conductor neutro puesto a tierra. P. ej.: 380 V 60 Hz.	3NPE ~ 60 Hz 380 V 3PEN ~ 60 Hz 380 V	3PEN ~ 60 Hz 380 V	3 PHASE 4 WIRE 60 CYCLE 380 V (with neutral)
1.8	Corriente alterna trifásica con conductor neutro y conductor de protección. P. ej.: 380 V 60 Hz.	3NPE ~ 60 Hz 380 V 3PEN ~ 60 Hz 380 V	3/N/PE ~ 60 Hz 380 V	3 PHASE 4 WIRE 60 CYCLE 380 V (with neutral and protection earth)
1.9	Corriente continua - dos conductores. P. ej.: 60 V.	2 - 60 V	= IEC	2 WIRE DC 60 V
1.10	Corriente continua - dos conductores con conductor medio o neutro. P. ej.: 60 V.	2M - 60 V	= IEC	3 WIRE DC 60 V



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
2.1	Conductor. Símbolo general.	—————	= IEC	= IEC
2.2	Conductor de protección (PE) o neutro puesto a tierra (PEN).	—————	= IEC	= IEC
2.3	Conductor neutro (N).	—————	= IEC	= IEC
2.4	Unión conductora de cables.			= IEC
2.5	Conexión fija.	•	= IEC	= IEC
2.6	Conexión móvil.	○	= IEC	= IEC
2.7	Regleta de bornes. Bornes de conexión.		= IEC	= IEC



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
3.1	Resistencia.			= IEC
3.2	Resistencia con tomas fijas.		= IEC	= IEC
3.3	Devanados, bobinas. (Inductancias).			
3.4	Devanados, bobinas, inductancias con tomas fijas.			
3.5	Condensador.			
3.6	Condensador con toma.		= IEC	
3.7	Tierra.		= IEC	= IEC
3.8	Masa.			
3.9	Variabilidad extrínseca.		= IEC	= IEC
3.10	Variabilidad intrínseca.		= IEC	= IEC



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
4.1	Contacto de cierre.			
4.2	Contacto de apertura.			
4.3	Contacto de conmutación.			
4.4	Contacto de conmutación sin interrupción.			
4.5	Contacto temporizado abierto. Cierre retardado.			
4.6	Contacto temporizado cerrado. Apertura retardada.			
4.7	Contacto temporizado abierto. Apertura retardada.			
4.8	Contacto temporizado cerrado. Cierre retardado.			
4.9	Contactador con relé térmico (guardamotor).			

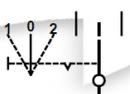


	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
4.10	Cortocircuito fusible (base + cartucho).		= IEC	= IEC
4.11	Barra de seccionamiento (barra de conexión).			
4.12	Dispositivo de enchufe.			
4.13	Interruptor de potencia. Símbolo general.			
4.14	Interruptor seccionador de potencia. (Posición seccionadora visible).			
4.15	Seccionador tripolar.			
4.16	Seccionador en carga, tripolar.			
4.17	Seccionador con fusibles.		= IEC	
4.18	Interruptor automático con protección magnetotérmica.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
4.19	Accionamiento manual.		= IEC	= IEC
4.20	Accionamiento mediante pedal.			 FOOT OPERATED SWITCH
4.21	Accionamiento por leva.			= IEC
4.22	Accionamiento por émbolo (neumático o hidráulico).		= IEC	
4.23	Accionamiento de "fuerza".		= IEC	
4.24	Accionamiento por motor.		= IEC	
4.25	Dispositivo de bloqueo o enganche.		= IEC	Se indica con una nota
4.26	Dispositivo de bloqueo o enganche bidireccional.			Se indica con una nota
4.27	Bloqueo por muesca.		= IEC	Se indica con una nota
4.28	Accionamiento retardado (a la derecha en este caso).		= IEC	
4.29	Acoplamiento mecánico.		= IEC	



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
5.1	Pulsador con accionamiento manual en general (NA).			
5.2	Pulsador con accionamiento manual por empuje (NA).			
5.3	Contacto con enclavamiento rotativo, accionamiento manual.			
5.4	Conmutador con dos posiciones y cero, con retorno a cero al cesar la fuerza de accionamiento (NA).			
5.5	Conmutador con dos posiciones y cero, con enclavamiento en las dos posiciones.			
5.6	Mando con pulsador.			
5.7	Interruptor manual (auxiliar de mando).		= IEC	



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
6.1	Sistema de accionamiento, con retroceso automático, al cesar la fuerza de accionamiento, para contactores y similares.		= IEC	
6.2	Relé con dos devanados activos en el mismo sentido.			
6.3	Relé o disparador de medida con indicación de la magnitud medida. Por ej.: mínima tensión.			
6.4	Sistema de accionamiento electromecánico retardado. Retraso a la desconexión.			
6.5	Sistema de accionamiento electromecánico retardado. Retraso a la conexión.			
6.6	Sistema de accionamiento electromecánico retardado. Retraso a la conexión y desconexión.			
6.7	Relé polarizado.			
6.8	Relé de remanencia.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
7.1	Diodos semiconductores.			
7.2	Diodo limitador o zener, de un sentido.			
7.3	Diodo limitador o zener, de doble sentido.			
7.4	Tiristor.			
7.5	Triac.			
7.6	Transistor PNP.			
7.7	Transistor NPN.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
8.1	Transformador con dos devanados separados.			
8.2	Autotransformador.			
8.3	Devanado o bobina en general.			
8.4	Transformador de intensidad.			
8.5	Transformador de tensión.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
9.1	Motor trifásico con rotor de anillos rozantes.			
9.2	Motor trifásico con rotor de jaula.			
9.3	Motor trifásico con rotor de jaula, con seis bornes de salida.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
10.1	Bocina.			
10.2	Timbre.			
10.3	Sirena.			
10.4	Lámpara de señalización.			
10.5	Indicador de posición.			



	Significación	Símbolo según las normas		
		IEC	DIN	ANSI
11.1	Voltímetro.		= IEC	
11.2	Amperímetro.		= IEC	
11.3	Vatímetro.		= IEC	
11.4	Fasímetro. (Indicando el factor de potencia o el ángulo).	 	= IEC	
11.5	Frecuencímetro.	 	= IEC	
11.6	Contador de energía activa.		= IEC	
11.7	Contador de energía reactiva.		= IEC	
11.8	Contador de horas.		= IEC	
11.9	Contador de impulsos.		= IEC	