

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA MEJORAR EL PROCESO DE
RECUBRIMIENTO DE ESTAÑO EN PLACAS DE COBRE EN LA
EMPRESA POLIVALENTE SERVICIOS INDUSTRIALES EIRL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTADA POR:

BACH. CERVANTES MORENO, JESÚS DARÍO JACINTO
BACH. VEGA PÁRRAGA, GERVASIO VLADIMIR

ASESOR:

MG. ING. PALOMARES ORIHUELA, RICARDO JOHN

LIMA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mis padres y mis hermanos, que siempre serán mi mayor motivación en esta vida.

Jesús Cervantes

A mis padres, mis hermanos y mis hijos, que serán mi mayor motivación y motor en esta vida.

Gervasio Vega

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios y a nuestros padres por su apoyo incondicional en toda nuestra labor académica, siempre fueron de gran ayuda en momentos difíciles.

A nuestra alma máter, profesores de la escuela de ingeniería mecatrónica y nuestros amigos de la universidad, donde compartíamos experiencias inolvidables.

Y, finalmente, de manera muy especial a nuestro asesor y metodóloga por su grandes exigencias y enseñanzas.

Jesús Cervantes y Vladimir Vega

RESUMEN

La presente tesis titulada Diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre para la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL está compuesta principalmente por un diseño mecánico, eléctrico, electrónico e informático. En la actualidad muchas empresas de nuestro país carecen de tecnología en conocimientos técnicos, manuales, instrumentación, así como manejo de equipos necesarios en la producción. Estos puntos a su vez traen consigo problemas que afectan al proceso, por medio de este proyecto será llevado a cabo la solución de estos inconvenientes y la realización óptima de nuestro proceso.

El estudio se justificó por cuanto posee valor teórico, utilidad práctica y relevancia social por su conveniencia y en base a los beneficios netos que genera el sistema automatizado para la mejora del proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre. El referencial teórico se fundamenta en el concepto de Automatización Industrial de Sanchis, Romero y Ariño, quien sustenta que la aplicación del diseño e implementación son elaborables para el desarrollo de nuestro proyecto.

Los resultados evidenciaron el diseño e implementación adecuada y efectiva del sistema automatizado y el recubrimiento de estaño, concluyéndose que la variable dependiente requiere de un proceso continuo y eficiente para obtener una buena calidad del producto.

Palabras claves: Automatización, estañado, Controlador Lógico Programable, recubrimiento, placas de cobre.

ABSTRACT

This thesis entitled Design and implementation of an automated system to improve the process of tin coating on copper plates for the company Polivalente Servicios Industriales EIRL is mainly composed of a mechanical, electrical, electronic and computer design. At present many companies in our country lack technology in technical knowledge, manuals, instrumentation, as well as handling of equipment needed in production. These points in turn bring with them problems that affect the process, through this project will be carried out the solution of these drawbacks and the optimal realization of our process.

The study was justified because it possesses theoretical value, practical usefulness and social relevance for its convenience and based on the net benefits generated by the automated system for the improvement of the tin coating process in copper plates. The theoretical reference is based on the concept of Industrial Automation of Sanchis, Romero and Ariño, who maintains that the application of the design and implementation are elaborable for the development of our project.

The results evidenced the design and proper and effective implementation of the automated system and the tin coating, concluding that the dependent variable requires a continuous and efficient process to obtain a good quality of the product.

Keywords: Automation, tinning, Programmable Logic Controller, coating, copper plates.

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de la presente investigación diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre en la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL se consideró los siguientes antecedentes: Apaza y La Torre con la tesis “Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de Control y Automatización EPIME – 2016”, así mismo Barahona y Navarro con la tesis “Mejora del proceso de Galvanizado en un Empresa Manufacturera de Alambres de Acero Aplicando la Metodología Lean Six Sigma” y, finalmente, Salcedo con la tesis “Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta hass”.

El objetivo principal fue diseñar e implementar un sistema capaz de automatizar y mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre para la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL. Así mismo para un estudio sistematizado del problema, la investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: Planteamiento del problema, donde se considera la problematización, objetivos generales y específicos, justificaciones, alcances y limitaciones de la investigación. Capítulo 2: Marco teórico, donde se considera los antecedentes de la investigación, sean internaciones y nacionales, óptica de la investigación, selección de variables con sus dimensiones y las bases teóricas. Capítulo 3: Diseño e implementación del sistema automatizado, donde se considera el diseño mecánico, diseño eléctrico, diseño electrónico, diseño informático, implementación mecánica, implementación eléctrica e implementación electrónica. Capítulo 4: Pruebas y resultados, donde se comprueba los objetivos propuestos de la presente investigación. Para finalizar la investigación se redactan las conclusiones, recomendaciones y se describe la referencia bibliográfica utilizada como también se consideran los anexos con información que valida la investigación realizada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1 Problematicación.....	8
1.2 Objetivo	10
1.3 Justificación.....	11
1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	12
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Antecedentes de la investigación	13
2.2 Selección de variables	16
2.3 Bases teóricas.....	16
CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	57
3.1 Condiciones requeridas	57
3.2 Diseño Mecánico.....	57
3.3 Diseño Eléctrico	78
3.4 Diseño electrónico	84
3.5 Diseño Informático	100
3.6 Implementación del sistema automatizado.....	105
CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS	112
4.1 Pruebas.....	112
4.2 Resultados	113
4.3 Confirmación de la eficacia	119
CAPITULO V: CONCLUSIONES	123
CAPITULO VI: OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
ANEXOS.....	128

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problematicación

Polivalentes Servicios Industriales E.I.R.L. es un grupo profesional encargado de brindar lo mejor en servicios múltiples y especiales en la rama de Soldaduras Especiales y construcciones de estructuras metal mecánica, para nuestro proceso se necesita llevar un control de tiempo empleados, así como el material empleado en la realización y los requerimientos de los mismos como la elaboración de intercambiadores de calor.

Uno de los procesos realizados por la empresa es recubrir placas de cobre con estaño que posteriormente son llevadas al armado, uniendo las partes correspondientes como son las barras de cobre dentro de una matriz de colocación y que finalmente son llevadas a un horno industrial que permite el último acabado para todo el intercambiador (filtro). Para ello el proceso lo primero por realizar es el matrizado, superpuestos unos sobre otros con una unión de 20 placas para ser respectivamente agujeradas, de manera de que los agujeros sean pasantes y limpios para el armado final.

En la figura 1, según el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE), se observa que durante el periodo enero y junio del 2018 se ha reportado más de 8,278 accidente laborales, cerca del 1183 más que el mismo periodo, pero en el 2017.

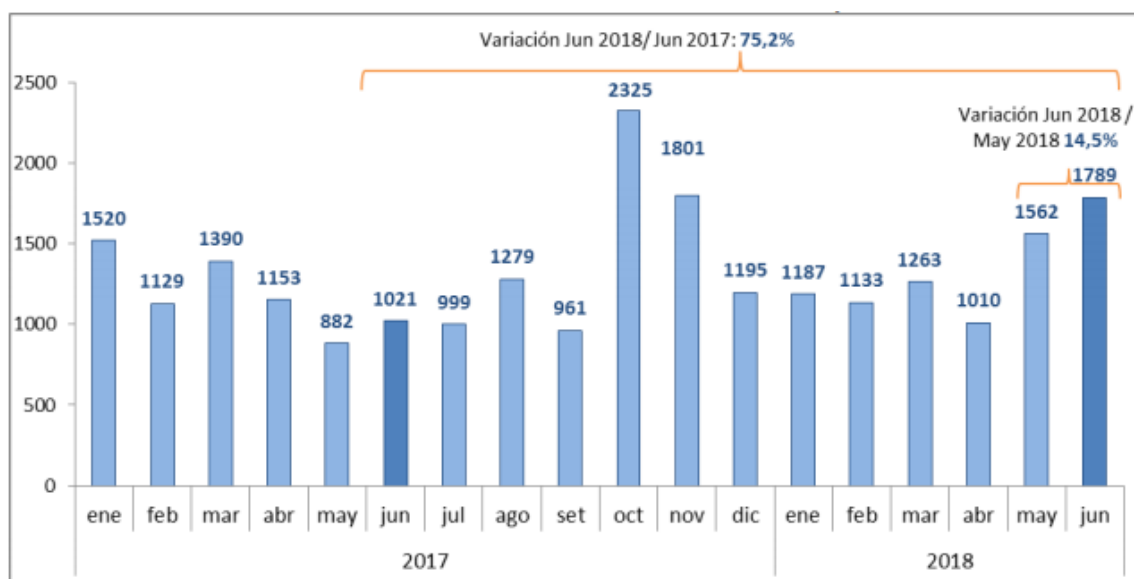


Figura 1. Evolución mensual de accidentes de trabajo, 2017-2018

Fuente: <https://bit.ly/2q7Uj6K>

De los datos mencionados anteriormente un 20.16% son generados por actividades en el sector de industrias manufactureras, es decir que en una empresa como la de Polivalente Servicios Industriales es probable que tenga este tipo de problemas al momento de realizar el procedimiento de manera incontrolada ya que, al momento de estañar estas placas de cobre, se provoca una serie de expulsiones de gases dañinos en el que gradualmente perjudica la salud del personal u operador a cargo.

Otro problema habitual que tenemos es el económico, este presenta una serie de pérdidas con respecto a las placas de cobre por lo que el procedimiento que se realiza para recubrirlas de estaño no es controlado eficientemente, es decir, no se toma en cuenta el tiempo de ejecución, temperatura, calidad, entre otros. Por lo tanto, se presenta una serie de defectos en las propiedades mecánicas de las placas. En la siguiente tabla 1 se muestra los costos de recubrimiento de estaño realizado por terceros.

Tabla 1. Costos de recubrimiento de estaño realizado por terceros durante 4 meses

MESES	UNIDAD	N° DE PIEZAS	COSTO*PIEZA	TOTAL MENSUAL EN S/.
Octubre	2	1600	4.75	7600
Noviembre	3	2400	4.75	11400
Diciembre	1	800	4.75	3800
Enero	2	1600	4.75	7600
Total Soles S/.				30400

Fuente: Polivalente Periodo (octubre 2017 - enero 2018)

En el control de calidad en el proceso de recubrimiento de estaño, existen problemas económicos en los costos indirectos del producto defectuoso o desechable. El control del proceso en la actualidad es ordinario, se procede mediante accionamientos manuales y controlados por experiencia del operador, mas no por un proceso de control de calidad ya sea esto con datos técnicos y del área de ingeniería.

Problema general

¿Cómo se diseña e implementa un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre en la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL?

Problemas específicos

- a) ¿Cómo se diseña e implementa la parte mecánica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre?
- b) ¿Cómo se diseña e implementa la parte eléctrica y electrónica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre?
- c) ¿Cómo se diseña e implementa la parte informática del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre?
- d) ¿Cómo determinamos la eficacia del sistema automatizado?

1.2 Objetivo

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema capaz de automatizar y mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre para la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL

Objetivos Específicos

- a) Diseñar e implementar la parte mecánica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre.
- b) Diseñar e implementar la parte eléctrica y electrónica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre.
- c) Diseñar e implementar la parte informática del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre.
- d) Determinar la eficacia del sistema automatizado.

1.3 Justificación

La justificación tecnológica implica el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC). Este controlador mejorará y acondicionará el problema del estañado de placas de cobre ya que se realizará un control de tiempo, temperatura y calidad adecuados para que el producto tenga un estañado uniforme, sin que se pierda sus propiedades físicas.

La justificación social consiste en agregar a la implementación un extractor de gases tóxicos que este emana al momento de estañar las placas, esto es con el fin de no dañar la salud al personal u operador a cargo. Asimismo, implica también al cuidado del medio ambiente.

La justificación económica implica reducir los gastos de la empresa al fabricar este sistema automatizado, evitando así que se manden a estañar las placas a terceros, a la vez que la pérdida del material a estañar se reduzca considerablemente ya que en la actualidad se realiza sin ningún tipo de control, provocando productos defectuosos o desechables.

1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación

La presente tesis contempla el diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre en la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL.

Sus características principales frente al alcance son las siguientes:

- a) Un controlador lógico programable (PLC) ya que es el más adecuado para sistemas automatizados a escala industrial.
- b) Un controlador de temperatura para mantener al estaño en estado líquido, listo para el recubrimiento.
- c) Estructuras mecánicas escaladas para su uso y pruebas.
- d) Un sistema electroneumático.

Las limitaciones que pueden presentarse son las siguientes:

- a) Para la empresa donde se está realizando la investigación se ha pronosticado una alta inversión por parte del proyecto, por lo mismo que complica la realización del proyecto ya que se planteó implementar diversos tipos de componentes electrónicos, neumáticos, válvulas especiales para control de gas, motores, etc.
- b) Con respecto al impacto ambiental y nuestra salud, debido a la emanación de gases al momento de realizar el recubrimiento de estaño, este mismo está aleado con plomo que es una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se tomaron como referencia y como bases para el diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre en la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL. De esta forma, se menciona y describe la óptica de la investigación, estableciendo la selección de variables que concreta el sistema automatizado y, últimamente, se presentan las bases teóricas que respaldan y mejoran con todos los temas que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la presente tesis.

2.1 Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Espinoza, M. e Hidalgo, E. (2015) en su investigación: *“Automatización del proceso de galvanización en caliente”* para obtener el título de Ingeniero en Control y Automatización del Politécnico Nacional, México, llegó a las siguientes conclusiones: a) Se adquirieron los conceptos básicos sobre el proceso de galvanización en caliente, destacando las etapas que lo conforman, las condiciones en las que operan cada una de ellas y la importancia de conocer sus variables para el monitoreo y tomar las acciones pertinentes, conociendo valores críticos de sistema que pueden dañar tanto la maquinaria como la materia prima y el producto final. b) Se realizó un análisis de motores que en conjunto con un PLC y variadores de velocidad permitieron obtener el movimiento de una viga tipo H para la inmersión de tinajas. Se comprobó la funcionalidad de la selección de motores en la simulación, la importancia de la óptima selección radica en el buen desempeño del motor con la potencia suficiente para soportar las piezas a recubrir y su compatibilidad para comunicarse con el controlador. (p. 78)

Castellanos, A. y Castillo, E. (2017) en su investigación titulada: *“Diseño e implementación de un sistema automatizado para control de*

temperatura y tiempo en tostadoras convencionales de café” de la Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingeniería de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia, llegó a las siguientes conclusiones: a) Mediante el uso del controlador implementado se logra manejar el proceso, alcanzando un producto final con calidad, lo que demuestra que el sistema funciona correctamente. b) Con la instalación del sistema de control se corrigieron procesos que podrían provocar fallas o averías en el equipo, defectos de calidad en el producto y accidentes o afectaciones a la salud de los trabajadores. c) El uso del controlador permitió aumentar el rendimiento en la producción, al establecer múltiples secuencias en el equipo que le dieron la autonomía en su funcionamiento y reducción de tiempos en el proceso. (p. 73)

Castro, C. y Murillo, M. (2015) en su investigación titulada: *“Diseño e implementación de un prototipo de sistema automatizado para la alimentación y climatización de una granja porcina”* para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, llegó a las siguientes conclusiones: a) El sistema PID controla actualmente sin conveniente la temperatura dentro del cubículo de acuerdo a la programación PLC que incluye la opción de tres rangos de temperatura. b) La interface de comunicación remota ha sido verificada en su total funcionamiento garantizando el acceso adecuado para los procesos productivos diarios requeridos. (p. 68)

Antecedentes nacionales

Salcedo, A. (2014) en su investigación titulada: *“Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta hass”* para optar el título de Ingeniero Electrónico de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú. La mencionada investigación concluye que: a) Se cumplieron objetivos iniciales de diseño de un sistema automatizado para riego por goteo, el diseño electrónico fue simulado e implementado en un circuito de entrenamiento. b) Se desarrolló el algoritmo de control en lenguaje C, utilizando el programa Arduino que es un código abierto, por lo que no

requiere de licencia para su funcionamiento. Se logró su implementación en la tarjeta de desarrollo Arduino Mega del mismo fabricante. c) Se logra realizar la comunicación serial del sistema, a una velocidad de transmisión de 9600 baudios, con un computador personal de propósito general, utilizando como interfaz con el usuario una pantalla de visualización y algunos indicadores que proporcionan la información necesaria del sistema de riego. Esto desarrollado con el programa LabView. (p. 61)

Apaza, D. y La Torre, I. (2017) en su investigación titulada: *“Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de Control y Automatización EPIME – 2016”* para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico-Electricista de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno concluye que: a) Con el diseño e implementación del sistema de riego automatizado se logró un eficiente uso de agua, así como un óptimo balance de humedad de suelo, como también el monitoreo de valores de consumo de potencia. b) Con el diseño e implementación del sistema automatizado de riego se logró un eficiente uso de agua reduciendo un consumo de agua del 10.9 %, respecto al riego convencional. c) Se logró con éxito el monitoreo de la humedad de suelo, donde se puede visualizar en tiempo real los datos de la cantidad de humedad de suelo, así como será capaz de almacenar un registro de datos. (p. 90)

Barahona, L. y Navarro, J. (2013) en su investigación titulada: *“Mejora del proceso de Galvanizado en un Empresa Manufacturera de Alambres de Acero Aplicando la Metodología Lean Six Sigma”* para optar el título de Ingeniero Industrial de la Pontificia Universidad Católica del Perú concluye que: a) En la fase medición se describe la situación actual del proceso a través del mapa e flujo de valor donde se visualiza que el tiempo de respuesta que exige el cliente es menor al del proceso actual, se identifican las variables de entrada-salida de cada uno de los procesos del área de galvanizado (área a analizar) para seleccionar las variables críticas del proceso que influyen en el problema principal mediante una matriz de enfrentamiento y se evalúa el costo de la no calidad. b) La fase

analizar se divide en dos grupos: análisis del proceso y análisis de datos. En el primer grupo, análisis del proceso, se identifican los desperdicios en base al mapa de flujo de valor el cual es un entregable de la fase de medición, en el segundo grupo se efectúa análisis de varianza, donde obtienen datos que influyen en el problema principal. (pp. 103-104)

2.2 Selección de variables

Las variables e indicadores de la tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre de la empresa Polivalente Servicios Industriales EIRL” se muestran a continuación en la siguiente tabla 2:

Tabla 2. Variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES
Variable 1:	Elementos del sistema automatizado
Sistema automatizado	Precisión en el sistema de control
Variable 2:	Nivel de temperatura
Recubrimiento de estaño en placas de cobre	Control de tiempo y calidad

Fuente: Elaboración propia

2.3 Bases teóricas

Sistema Automatizado

Definición de automatismo

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la substitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. “Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir del acceso de material, energía e información, se forma una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto” (Ponsa y Vilanova, 2005, p. 11).

Por otro lado, Sanchis, Romero y Ariño (2010) lo define como “aquel capaz de reaccionar sin la intervención del operario ante los cambios que se producen en el mismo, realizando las acciones adecuadas para cumplir la función para la que ha sido diseñado” (p. 6). En la figura 2 se muestra la estructura de un sistema automatizado

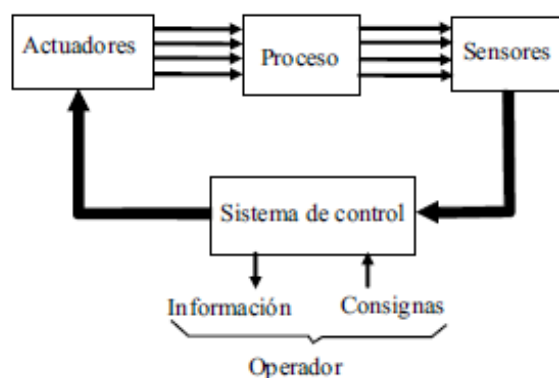


Figura 2. Estructura de un sistema automatizado

Fuente: Sanchis, Romero y Ariño (2010) Automatización Industrial

Principios básicos de diseño de sistemas de control

Moncada (2005) indica que existen 3 principios básicos para el diseño de sistemas de control:

Requisitos generales de sistemas de control. - Todo sistema debe ser estable, además de estabilidad absoluta, debe tener estabilidad relativa razonable. Asimismo, la velocidad de respuesta debe ser razonablemente rápida y el sistema debe ser capaz de reducir los errores a cero o a un valor pequeño tolerable.

Teoría de control moderno vs teoría de control clásico. - La teoría de control clásica utiliza extensamente el concepto de función de transferencia. La teoría de control moderna está basada en el concepto del espacio de estado, utiliza extensamente el análisis vectorial-matricial.

Modelado matemático. - Esto permite desarrollar una teoría de control unificada. En ingeniería de control, se usan ecuaciones diferenciales lineales, invariantes en el tiempo, funciones de transferencia y ecuaciones

de estado, para modelos matemáticos de sistemas lineales, invariantes en el tiempo y de tiempo continuo. (pp. 18-19)

Sistemas de control

El objetivo de un sistema de control es el de regir la respuesta de una planta sin que el operador manipule directamente sobre la salida. Dicho operador sólo manipula magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos.

Sistema de control de lazo abierto

Es aquel sistema de control en el que la salida no es afectada por la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada, es decir la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el control (ver figura 3).

Pérez (2000) indica que las características de los sistemas de control de lazo abierto son las siguientes:

- a) La exactitud depende de la calibración de los componentes
- b) No tienen problemas de inestabilidad
- c) Sensible a las perturbaciones
- d) Diseño más sencillo (p. 9)

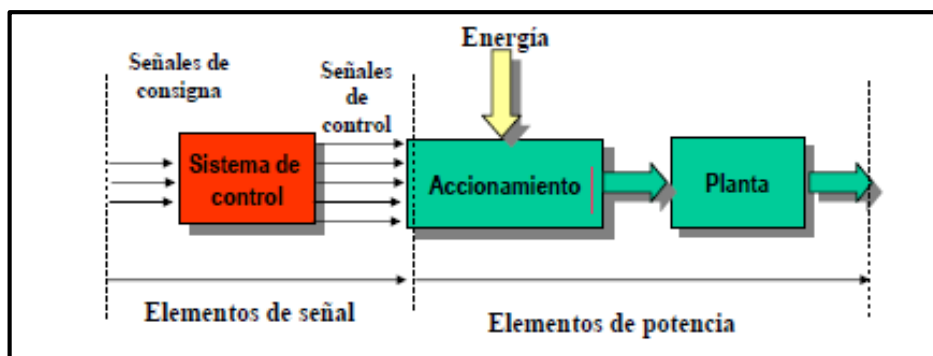


Figura 3. Diagrama de un sistema de lazo abierto.

Fuente: <https://bit.ly/1ZCBLpl>

Un ejemplo práctico es una lavadora automática; el remojo, el centrifugado y el lavado operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, la limpieza de la ropa. Otro ejemplo es el sistema de control de tráfico vehicular, éste está basado para operar sobre un tiempo fijado, pero no mide su respuesta que es el tráfico; sin embargo, los sistemas de control de tráfico modernos, computarizados, pueden considerarse de lazo cerrado: se ajustan de acuerdo al flujo de tráfico. (Carrillo, 2011, p. 24)

Sistema de control de lazo cerrado

“En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación” (Ogata, 2010, p. 7). (Que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de optimizar el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

El término lazo cerrado siempre indica una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (ver figura 4).

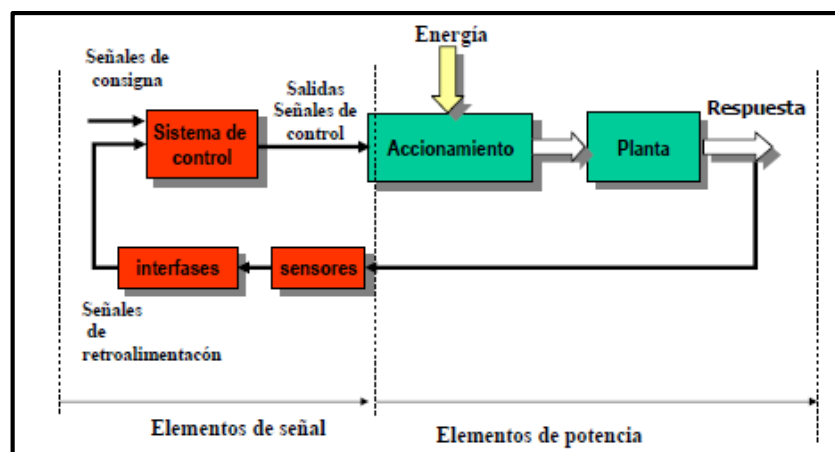


Figura 4. Diagrama de un sistema de lazo cerrado

Fuente: <https://bit.ly/1ZCBLpl>

Una de las ventajas más significativas que presenta este tipo de sistema de control es que se hace insensible a las perturbaciones y conserva su exactitud; de la comparación de la señal realimentada y la señal de entrada resulta la señal de error, la que es minimizada con la acción de control. Sus principios son aplicables a sistemas que presentan perturbaciones o variaciones imprevisibles en los componentes del sistema (Carrillo, 2011, pp. 24-25).

Servosistemas

Moncada (2005) lo afirma como “un sistema de control retroalimentado en el que la salida es algún elemento mecánico, sea posición, velocidad o aceleración. Estos servosistemas se utilizan ampliamente en la industria moderna” (p. 24). Por ejemplo, con el uso de servosistemas e instrucción programada se puede lograr la operación totalmente automática de máquinas herramientas.

Otros ejemplos incluyen el sistema de control de una mano de robot, en que la misma debe seguir una trayectoria determinada en el espacio al igual que una aeronave en el sistema de control de aterrizaje.

Control e instrumentación de procesos

Los instrumentos son proporcionados para monitorear las variables claves del proceso durante la operación de la planta. Estos pueden estar incorporados a un lazo de control automático, o usados para el control manual de la operación. Ellos también pueden ser parte de un sistema de control por computadora. “Los instrumentos monitoreando las variables críticas del proceso deben estar equipados con alarmas automáticas para alertar al operador sobre situaciones críticas y peligrosas” (Moncada, 2005, p. 31).

Objetivos de la instrumentación y control

Moncada (2005) detalla que los principales objetivos del diseñador al especificar los esquemas de instrumentación y control son:

a) Asegurar la operación de la planta,

1. Para mantener las variables del proceso dentro de límites seguros de operación conocidos
 2. Para detectar situaciones peligrosas a medida que desarrollen y proporcionen alarmas y sistemas automáticos de parada.
 3. Para proporcionar alarmas y dispositivos de parada para prevenir se produzca una operación peligrosa.
- b) Referente a la producción, para conseguir la salida del producto de acuerdo al diseño.
 - c) Calidad del producto, para mantener la composición del producto dentro de los estándares de calidad especificados.
 - d) Costo, para operar al menor costo de producción, complementario a los demás objetivos. (p. 55)

Automatismos analógicos y digitales

Según la naturaleza de las señales que interceden en el proceso, los sistemas de control pueden fraccionarse en los siguientes grupos:

- a) Sistemas analógicos
- b) Sistemas digitales

Sistemas Analógicos

Un sistema que procesa señales analógicas se conoce como un sistema analógico o sistema de tiempo continuo. La señal que va a procesar forma la excitación o entrada al sistema. La señal procesada recibe el nombre de respuesta o salida.

La respuesta de cualquier sistema está gobernada por la entrada y los detalles del sistema. Es posible que un sistema sea excitado por más de una entrada, y esto conduce a la idea más general de sistemas de entrada múltiple. El estudio de sistemas implica la entrada, la salida y las especificaciones del sistema. Conceptualmente, podemos determinar cualquiera de estas en términos de las otras dos. El análisis del sistema implica un estudio de la respuesta sujeta a entradas conocidas y formulaciones del sistema. Conocer las especificaciones de entrada-

salida nos permite identificar usualmente, o sintetizar, el sistema. La identificación del sistema o síntesis es mucho más difícil debido a que muchas de sus formulaciones son posibles para la misma relación de entrada salida. (Ambardar, 2002, p. 68)

En la figura 5 se muestra un ejemplo de sistema de tratamiento de voz con electrónica análoga.

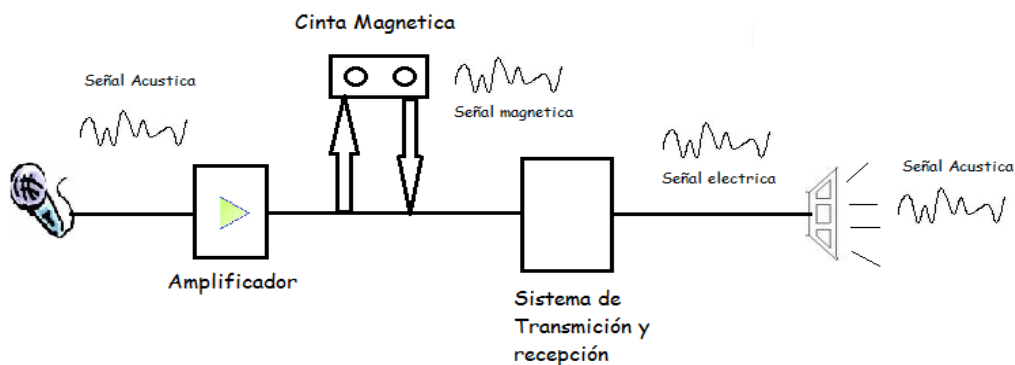


Figura 5. Sistema de tratamiento de voz con electrónica análoga

Fuente: <https://bit.ly/2BiqKHM>

Sistemas Digitales

El procesamiento de señales en tiempo discreto se efectúa con sistemas en tiempo discreto o filtros digitales. Ambardar (2002) indica que “la descripción de estos sistemas se basa fundamentalmente en cómo responden a señales específicas o arbitrarias. Muchos sistemas en tiempo discreto pueden describirse con ecuaciones de diferencias que relacionan la entrada y la salida” (p. 96).

En la figura 6 se muestra el mismo ejemplo de la figura anterior, en donde el sistema convierte de Análogo a Digital ya sea para su almacenamiento, transporte, manipulación de datos, etc. y, posteriormente, esa misma información elaborada vuelve a convertir de Digital a Análogo.

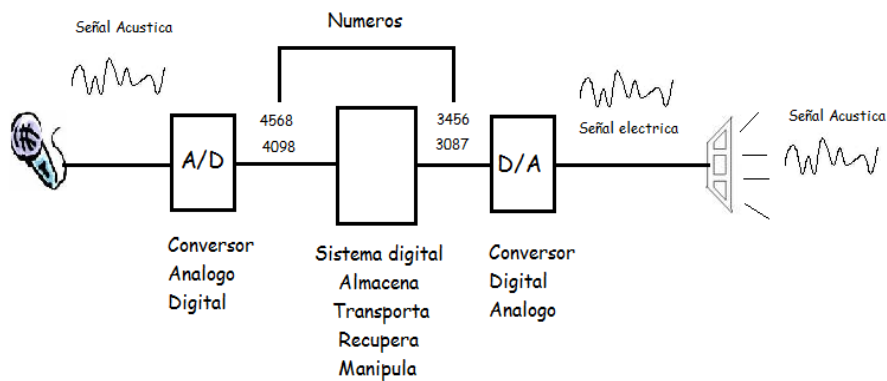


Figura 6. Conversión Análogo-Digital y Digital-Análogo

Fuente: <https://bit.ly/2BiqKHM>

Automatismos cableados y programables

Sanchis, Romero y Ariño (2010) comenta: “en función de la tecnología empleada para la implementación del sistema de control, se puede distinguir entre automatismos cableados y automatismos programados” (p. 7). El desarrollo de los controladores ha ido asociado al desarrollo tecnológico experimentado a lo largo de los tiempos. Esencialmente se clasifica en el cuadro de la figura 7.

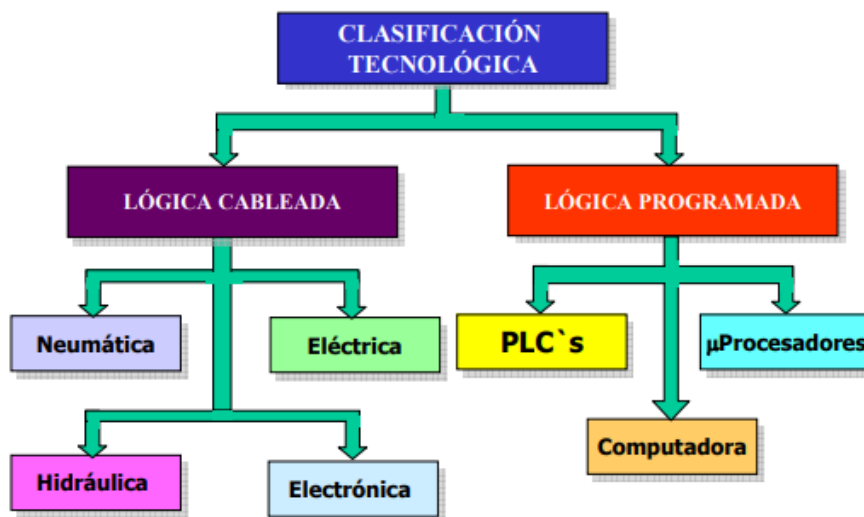


Figura 7. Clasificación tecnológica

Fuente: <https://bit.ly/1ZCBLpl>

Automatismos cableados

La lógica cableada se implementa por medio de uniones físicas entre los elementos que forman un sistema de control. La estructura de conexionado entre los distintos elementos da lugar a la función lógica que determina las señales de salida en función de las señales de entrada. Se pueden distinguir tres tecnologías diferentes: fluídica, eléctrica y electrónica.

a) Fluídica (neumática o hidráulica)

La neumática se refiere al estudio del movimiento del aire. Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc. (Creus, 2007, p. 9).

En la figura 8 se muestra los elementos básicos de un sistema neumático, estos se dividen en:

- Compresor neumático
- Elementos de control
- Elementos de transporte
- Elementos de protección
- Elementos de trabajo

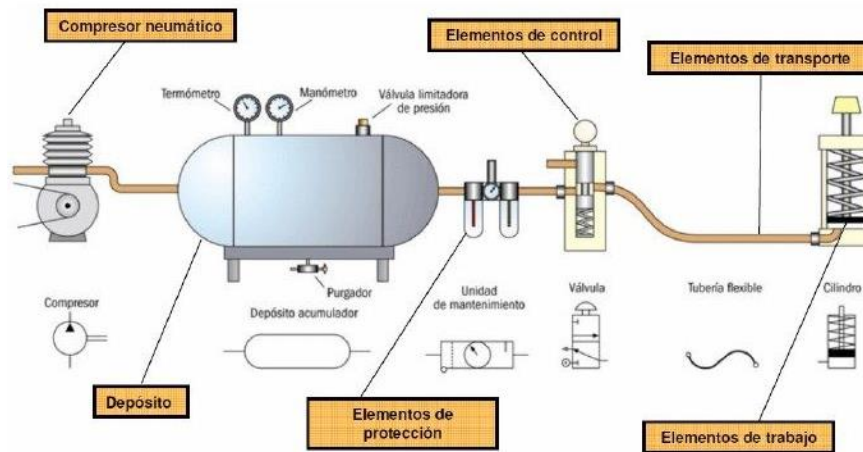


Figura 8. Elementos de un sistema neumático.

Fuente: <https://bit.ly/2nEEdQN>

Ventajas

1. Bajo costo
2. Facilidad de diseño e implementación
3. Bajo par o fuerza que puede desarrollar a las bajas presiones con que trabaja
4. Riego nulo de explosión
5. Conversión fácil al movimiento giratorio, así como al lineal
6. Posibilidad de transmitir energía a grandes distancias
7. Construcción y mantenimiento fáciles

Desventajas

1. Imposibilidad de obtener velocidades estables
2. Alto costo de energía neumática
3. Posibles fugas que reducen rendimiento

En la figura 9 se detalla la estructura de un sistema neumático con la siguiente secuencia: alimentación de energía, entrada de señales, procesamiento de señales, emisión de señales y ejecución de las órdenes.

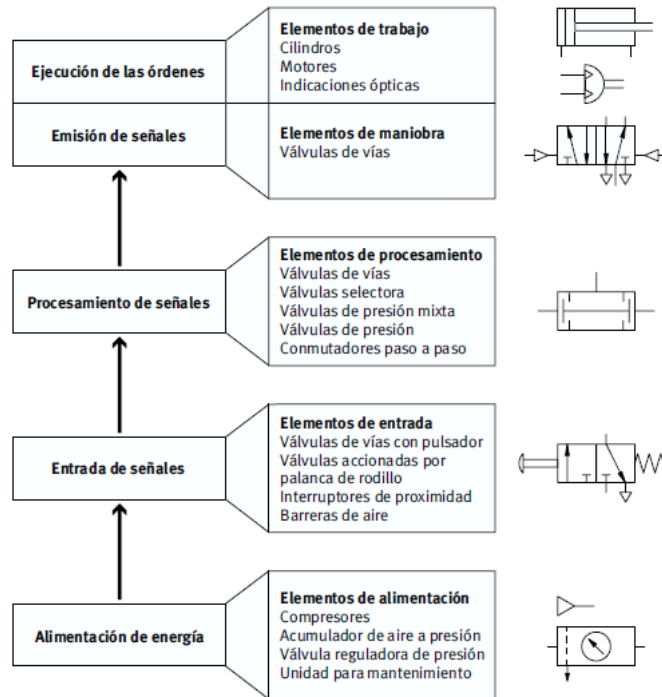


Figura 9. Estructura de un sistema neumático

Fuente: Croser, Thompson y Ebel (2000) Fundamentos de la neumática

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Creus (2007) afirma “estos sistemas se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadores, plataformas elevadoras, etc. para dispositivos fijos abarca máquinas de todo tipo, prensas, montacargas, etc.” (p. 12).

La figura 10 representa el movimiento típico de un pistón dentro de un cilindro gracias a la energía proporcionada por un sistema hidráulico, formada por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización.

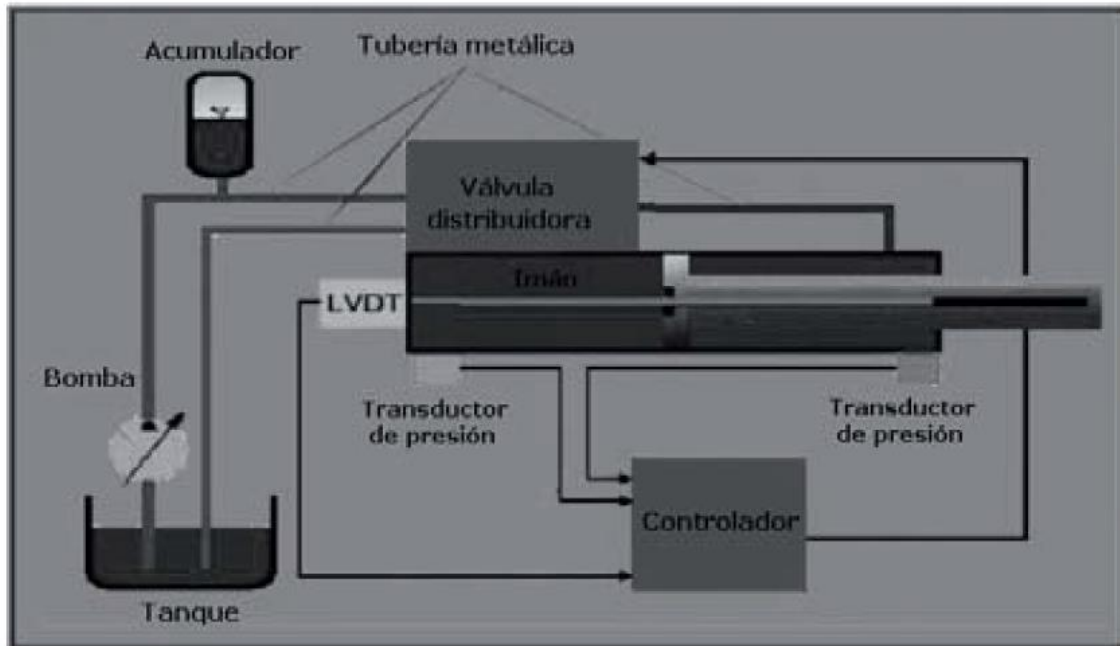


Figura 10. Circuito de un pistón dentro del cilindro en un sistema hidráulico

Fuente: Creus (2007) Neumática e Hidráulica

Ventajas:

1. Gran potencia transmitida con pequeños componentes
2. Posicionamiento preciso
3. Arranque con cargas pesadas
4. Movimientos lineales independientes de la carga
5. Buen control y regulación
6. Disipación favorable de calor

Desventajas

1. Polución del ambiente con riesgo de incendio y accidentes
2. Sensibilidad a la suciedad
3. Peligro presente debido a las excesivas presiones
4. Dependencia de la temperatura por cambios en la viscosidad

b) Eléctrica (relés o contactores)

El contactor es un dispositivo electromagnético, que puede ser controlado a distancia para cerrar o abrir circuitos de potencia. Una de las principales aplicaciones del contactor se realiza en el control de los circuitos de alimentación de todo tipo de motores eléctricos, pero se utiliza para

alimentar otros tipos de receptores, como sistemas de resistencias, líneas de luminarias, etc. (Martin y García, 2009, p. 136)

En la figura 11 se muestra diferentes tipos de contactores.

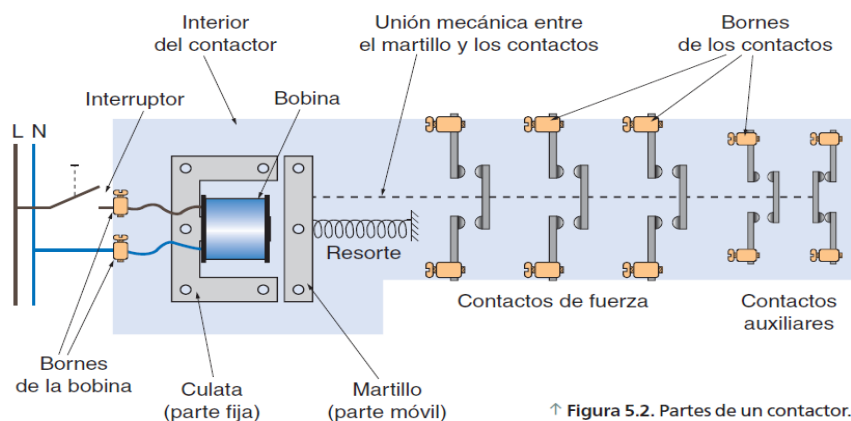


Figura 11. Diferentes tipos de contactores

Fuente: Martin y García (2009) Automatismos industriales

Partes del contactor

El contactor dispone de las siguientes partes: bobina, circuito magnético y contactos eléctricos. (Figura 12)



↑ Figura 5.2. Partes de un contactor.

Figura 12. Partes de un contactor

Fuente: Martin y García (2009) Automatismos industriales

Bobina

Es el órgano del contactor que puede ser controlado a distancia cuando se aplica tensión a sus bornes. Martín y García (2009) describe: “está formada por hilo esmaltado de pequeño diámetro y muchas espiras, bobinado sobre un pequeño carrete de material aislante. Se fabrican bobinas para diferentes tensiones de trabajo (12V, 24V, 48V, 230V, etc.), tanto para corriente alterna como para corriente continua” (p. 137).

Circuito magnético

Consta de dos partes, la culata y el martillo. La culata es la parte fija y en ella se aloja la bobina del contactor. El martillo es la parte móvil. Ambas partes se mantienen separadas en reposo debido a un dispositivo de resorte que tira de la parte móvil.

Cuando la bobina se alimenta con la tensión adecuada, la culata se imanta atrayendo al martillo hacia ella. “Habitualmente el circuito magnético no se ve desde el exterior, pero todos los contactores disponen de un elemento de indicación mecánica, que se hunde o cambia de posición, permitiendo conocer si está activado o no” (Martín y García, 2009, p. 137).

Contactos eléctricos

Están unidos mecánicamente a la parte móvil del circuito magnético. De esta forma, cuando el martillo se desplaza, también lo hacen los contactos, abriendo los que están cerrados y cerrando los que están abiertos. En general, se pueden encontrar dos tipos de contactos en un contactor: los de fuerza y los de mando, también llamados auxiliares (ver figura 13).

Los de fuerza están preparados para un mayor poder de corte y se encargan de controlar las cargas de potencia (por ejemplo, un motor eléctrico, un conjunto de radiadores eléctricos, etc.). Los de mando se utilizan para tareas auxiliares y de control. (Martín y García, 2009, p. 137)

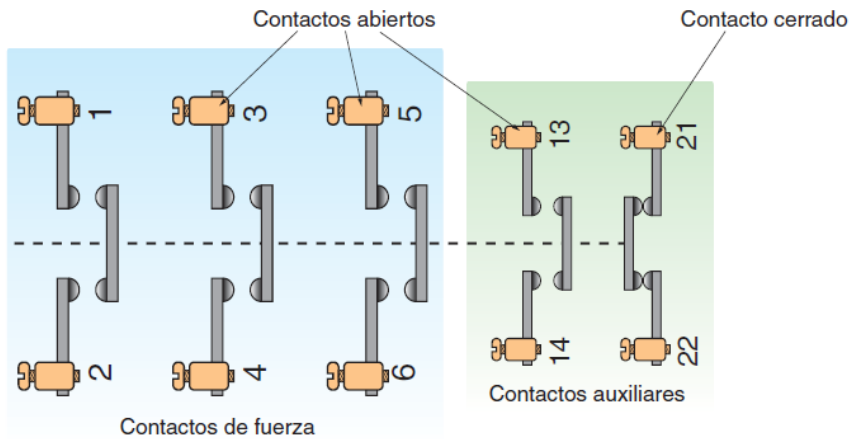


Figura 13. Tipos de contacto de un contactor

Fuente: Martín y García (2009) Automatismo industriales

A la mayoría de los contactores modernos se les pueden añadir contactos auxiliares mediante cámaras acoplables. Estas se fijan por un sistema de conexión rápida, al cuerpo principal. Las cámaras pueden tener diferentes tipos de contactos, pero los más habituales son los contactos abiertos, cerrados y temporizados.

c) Electrónica o estática (puertas lógicas y biestables)

Son los circuitos electrónicos cuya misión es controlar de manera automática el funcionamiento de algunas máquinas u operadores.

Fernández (2011) detalla que en todo sistema electrónico tendremos dispositivos de 3 tipos:

1. Dispositivos de entrada, que generan señal eléctrica a partir de una señal del exterior de otro tipo (por ejemplo, un elemento accionador como pulsador, o a través de sensores como finales de carrera, células fotoeléctricas, etc.)
2. Los de proceso, que reciben señales de entrada y deciden cual es la acción a realizar.
3. Dispositivo de salida, tienen como misión ejecutar las acciones que deciden los de proceso. (p. 5)

Gráficamente cualquier sistema electrónico se representa con el diagrama de bloques de la siguiente figura 14.

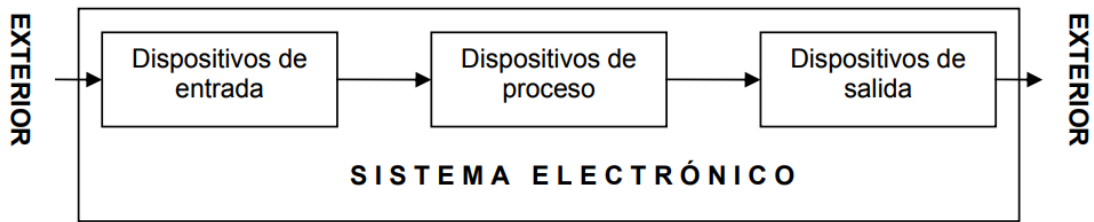


Figura 14. Gráfico general de un sistema electrónico

Fuente: <https://bit.ly/2KYmixO>

Circuitos digitales

Los circuitos digitales más simples son las puertas lógicas. En ellas, la tensión de salida es función de la tensión de entrada y, para que funcionen, necesitan estar “alimentadas”. “La señal de entrada suele ser digital y variable en el tiempo, y conforme va variando, también varía la tensión de salida de acuerdo a la función lógica realizada por la puerta” (Ruiz, Arbelaitz, Etxeberria e Ibarra, 2004, p. 501). (ver figura 15).

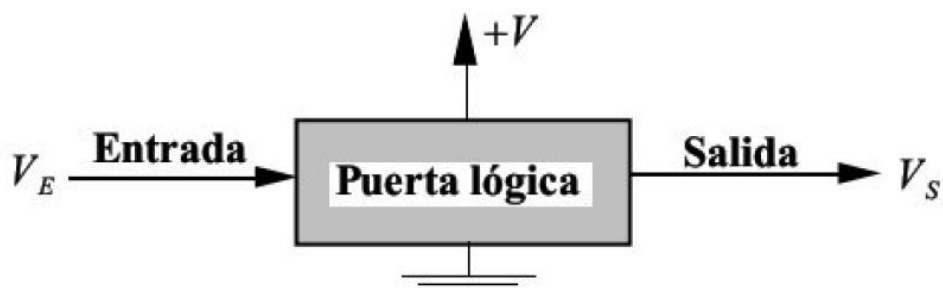


Figura 15. Gráfico de una Puerta lógica

Fuente: Ruiz, Arbelaitz, Etxeberria e Ibarra (2004). Análisis básicos de circuitos eléctricos y electrónicos

Las puertas lógicas pueden tener una entrada o más y para indicar la función lógica que realizan se utilizan las denominadas “tablas de verdad”. En ellas se indican los valores de la tensión de salida que se obtendrá para todas las combinaciones posibles de valores de las tensiones de entrada. (Ruiz, Arbelaitz, Etxeberria e Ibarra, 2004, p. 502)

Automatismos programados

Los automatismos programados sustituyen los elementos utilizados en los circuitos de mando (tales como contactores de potencia, relés,

temporizadores, etc.) por PLC's Autómatas Programables o Relés Programables, esto permite cambiar las operaciones de mando mediante cambio de programación y por ende no modificar el cableado.

Sanchis, Romero y Ariño (2010) detalla que los automatismos programados “se implementan por medio de un programa que se ejecuta en un microprocesador. Las instrucciones de este programa determinan la función lógica que relaciona las entradas y las salidas”. Los automatismos programados se pueden distinguir 3 formas de implementación:

Autómata programable industrial.

Hoy por hoy es el que más se utiliza en la industria. Es un equipo electrónico programable en un lenguaje específico, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial procesos secuenciales (ver figura 16). Se utilizan para el control de máquinas y procesos. (Sanchis, Romero y Ariño, 2010, p. 8)



Figura 16. El autómata programable o mayormente conocido como PLC

Fuente: <https://bit.ly/2MjwPcn>

El PLC es un sistema de control industrial basado en una computadora que usa instrucciones de programación para tomar decisiones de encendido y apagado. El manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: Series, paralelos, temporizaciones, conteo, cálculos, regulaciones, etc.

Martínez (2005) detalla que los controladores lógicos programables satisfacen las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales, así como todas las funciones asociadas de temporización, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, el PLC es un poderoso satélite dentro de una red de control distribuido. (p. 7)

1. Estructura interna de un controlador lógico programable

Como se mencionó anteriormente, el PLC es una unidad que realiza operaciones lógicas y de computación. En la figura 17 se puede observar un esquema del mismo:

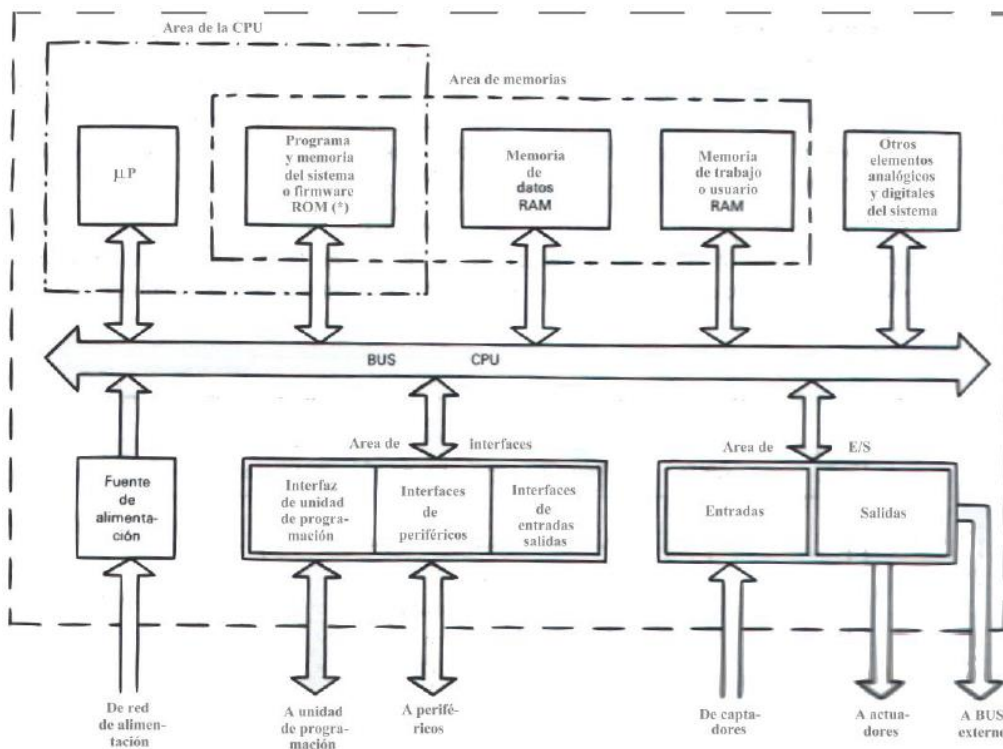


Figura 17. Esquema del funcionamiento lógico y de computación de un PLC

Fuente: Martínez (2015) Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con controladores lógicos programables

2. Partes de un controlador lógico programable

Maloney (2006) considera que los controladores lógicos programables tienen tres partes: sección entrada/salida, el procesador y el dispositivo de programación.

- a) Sección de entrada/salida. - La sección de entrada/salida de un controlador lógico programable tiene a su cargo la función de interconectar los dispositivos industriales de alta potencia, al sistema de circuitos electrónicos de baja potencia que almacena y ejecuta el programa de control (p. 76)
- b) El procesador. - El procesador de un PLC mantiene y ejecuta el programa de usuario. Para llevar a cabo este trabajo, el procesador debe almacenar las condiciones de entrada y salida más actualizadas.

Explicando la figura 18 las tareas del procesador son: 1. Obtener las instrucciones de la memoria de programa de usuario al CPU, 2. obtener información de E/S de los archivos imágenes e información numérica de la memoria de información variable y 3. ejecutar las instrucciones. La ejecución de las instrucciones implica 4. Tomar decisiones lógicas respecto a los estados adecuados de las salidas ocasionando que estos estados se presenten en el archivo imagen de salida, y 5. Calcular los valores de la información variable y almacenar estos valores en memoria de información variable. (Maloney, 2006, p. 79)

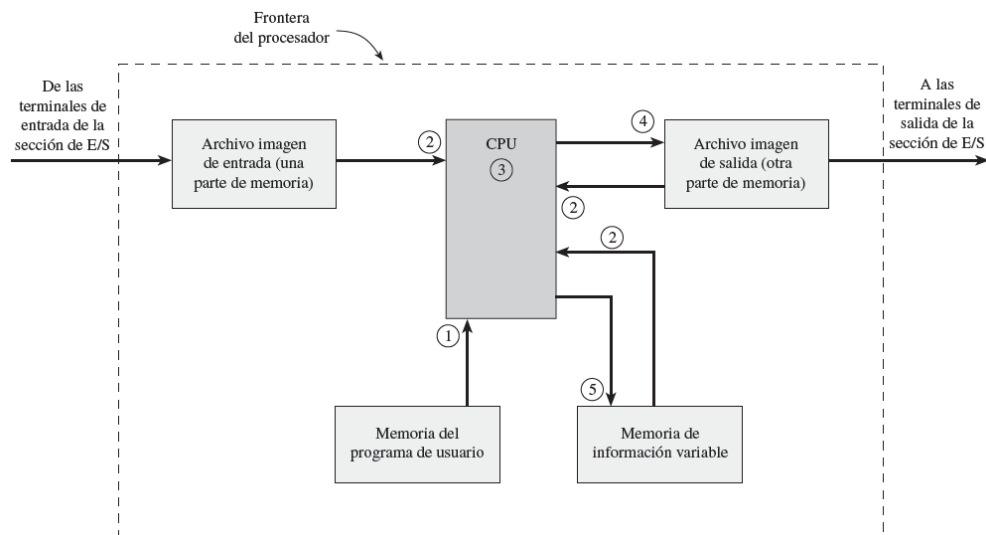


Figura 18. Esquema general del procesador de un PLC

Fuente: Maloney (2006) Electrónica Industrial Moderna

a) Dispositivo de programación

También es denominado terminal de programación o solo programador. Algunos PLC están equipados con un dispositivo de programación dedicado, fabricado por la misma compañía que elabora el PLC, pero en muchas instalaciones, el dispositivo de programación es una computadora personal de escritorio o portátil con una tarjeta de interface de comunicación instalada en una ranura de expansión. Un cable de comunicación serial se conecta a la tarjeta de interface, uniéndola con el procesador del PLC, como se muestra en la figura 19. (Maloney, 2006, p. 89)

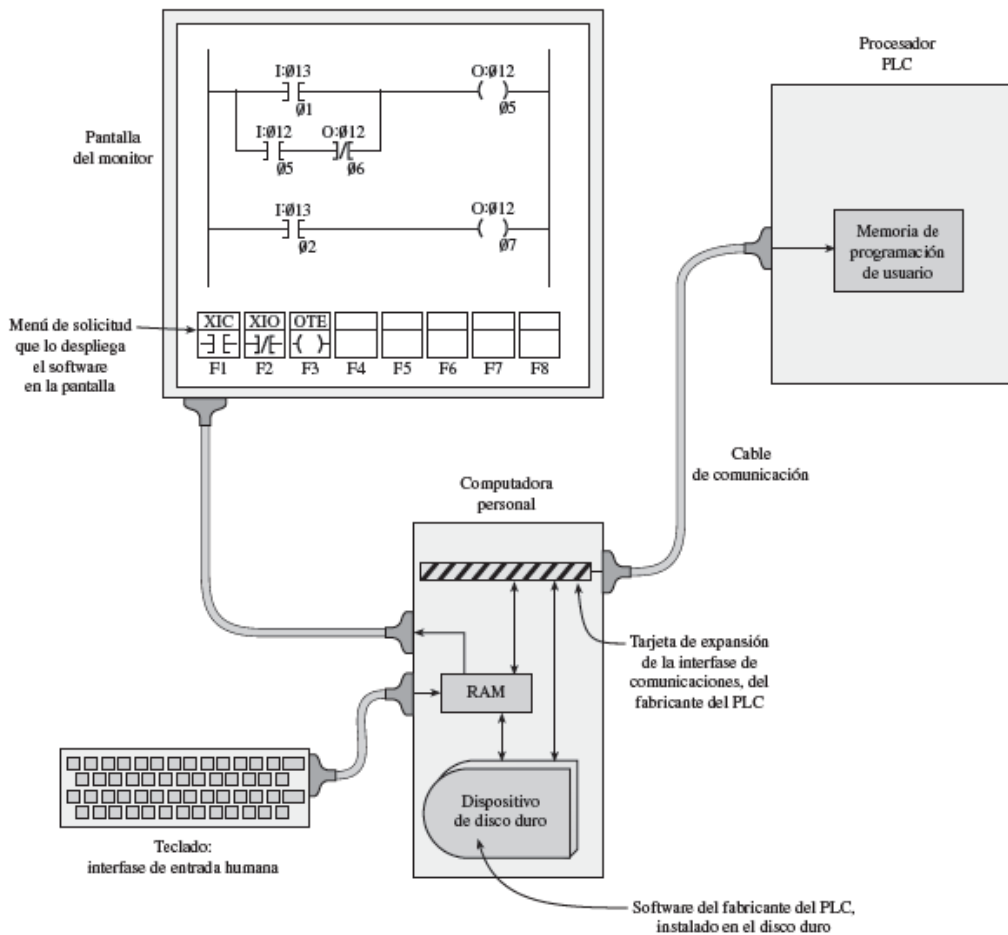


Figura 19. Esquema de conexiones del PLC con el dispositivo de programación

Fuente: Maloney (2006) Electrónica Industrial Moderna

1. Lenguajes de programación

Con la idea de hacer el modelo adecuado para una gran variedad de aplicaciones, cinco lenguajes han sido definidos en total:

- Gráfico secuencial de funciones (Grafcet)
- Lista de instrucciones.
- Texto estructurado.
- Diagrama de flujo.
- Diagrama de Escalera o Ladder


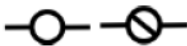
Sin embargo, los lenguajes de programación más utilizados en la actualidad son: el listado de instrucciones y el diagrama de escalera

a) Programación Diagrama Escalera o Ladder

Es la elaboración de un programa similar a un dibujo de contactos eléctricos. Consta de dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación. Los circuitos se disponen como líneas horizontales, como si fueran peldaños de una escalera, sujetos entre las dos líneas verticales. (Martínez, 2015, p. 30)

En la tabla 3 se puede ver puede ver una comparación entre lo que significa los dibujos para la antigua lógica de escalera y para la moderna programación de un PLC.

Tabla 3. Comparación de los diagramas Ladder

SIMBOLOGÍA	CONEXIÓN FÍSICA DE RELÉ	PROGRAMACIÓN POR PC
Líneas Verticales	Bus principal	Comienzo y Fin del renglón
Renglones o peldaños	Ramas del Circuito	Conjunto de Instrucciones
	Contactos	Dirección de dispositivos de entradas y salida
	Bobinas de Relés	Dirección en registros de salida
Implementación	Conexión de cables siguiendo el esquema	Entrada de símbolos con el dispositivo de programación

Fuente: MiCRO (2011) Manual del Controlador Lógico Programable

Ordenador (PC industrial).

Cada vez se utilizan más. “Son ordenadores compatibles con los PC de sobremesa en cuanto a software, pero cuyo hardware está especialmente diseñado para ser robusto en entornos industriales” (Sanchis, Romero y Ariño, 2010, p. 8). En la figura 20 se muestra una PC de rango industrial basados en tecnología x86 y que funcionan sin ningún tipo de ventilación.



Figura 20. X86 BOX PC Industrial

Fuente: <https://bit.ly/2nBKg8F>

Microcontrolador

Son circuitos integrados (“chips”) programables, que incluyen en su interior un microprocesador y la memoria y los periféricos necesarios. Para utilizarlos, habitualmente se diseña una tarjeta electrónica específica para la aplicación, que incluye el propio microcontrolador y los circuitos electrónicos de interfaz precisos para poder vincularse a los sensores y actuadores. “Se utilizan sobre todo para sistemas de control de máquinas de las que se van a fabricar muchas unidades, de forma que la reducción de coste por el número de unidades fabricadas justifica la mayor dificultad del diseño” (Sanchis, Romero y Ariño, 2010, p. 8). En la figura 21 se muestran microcontroladores de la conocida empresa Microchip.

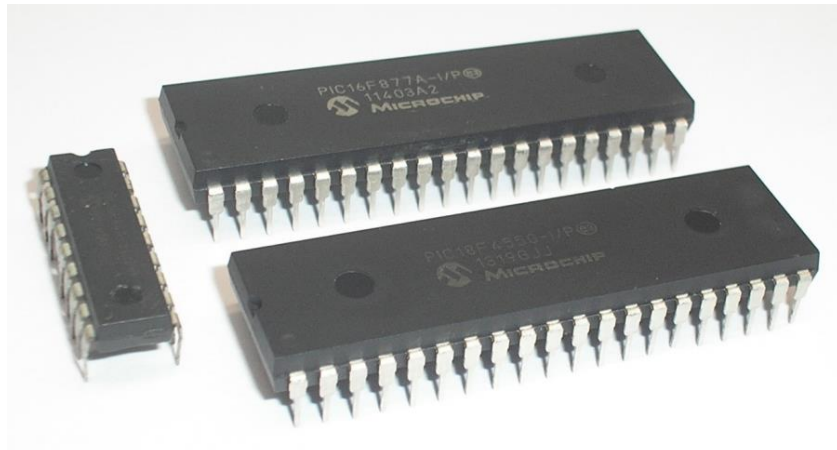


Figura 21. Microcontroladores de la empresa Microchip

Fuente: <https://bit.ly/2M7TCrQ>

Ventajas de un automatismo programable:

- Permiten gran flexibilidad para realizar modificaciones o ampliaciones
- Permite implementar funciones de control
- Ocupan corto espacio

Modelos y Funciones de transferencia

En la ingeniería de control se usan a menudo funciones de transferencia para identificar las relaciones de entrada-salida del sistema que se describen mediante ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo.

Función de transferencia

La función de transferencia de un sistema descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero. (Ogata, 2010, p. 15)

Considera el sistema lineal e invariante en el tiempo descrito mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$a_0y^{(n)} + a_1y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1}y' + a_ny = b_0x^{(m)} + b_1x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1}x' + b_mx \quad (n \geq m) \dots (1)$$

Donde y es la salida del sistema y x es la entrada. Ogata (2010) explica "...la función de transferencia de este sistema es el cociente de la transformada de Laplace de la salida y la transformada de Laplace de la entrada cuando todas las condiciones iniciales son cero, o..."

$$\begin{aligned} \text{Función de transferencia} = G(s) &= \frac{\mathcal{L}[\text{salida}]}{\mathcal{L}[\text{entrada}] \Big|_{\text{condiciones iniciales cero}}} \\ &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n} \dots (2) \end{aligned}$$

A partir del concepto de función de transferencia, es posible representar la dinámica de un sistema mediante ecuaciones algebraicas en s . Si la potencia más alta de s en el denominador de la función de transferencia es igual a n , el sistema se denomina sistema de orden n -ésimo.

Diagramas de bloques

Es la representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente y el flujo de señales. A diferencia de una representación matemática, el diagrama de bloques tiene la ventaja de indicar de forma más realista el flujo de las señales del sistema real.

En un diagrama de bloques todas las variables del sistema se enlazan unas con otras mediante bloques funcionales que son símbolos para representar una operación matemática que sobre la señal de entrada hace el bloque para producir la salida. Las funciones de transferencia de los componentes por lo general se introducen en los bloques

correspondientes, que se conectan mediante flechas para indicar la dirección del flujo de señales. (Ogata, 2010, p. 17)

Ventajas

- Representan en forma más gráfica el flujo de señales de un sistema
- Con los bloques es posible evaluar la contribución de cada componente al desempeño total del sistema
- No incluye información de la construcción física del sistema

Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado

En la figura 22 se muestra un ejemplo de un diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado.

La salida $C(s)$ se realimenta al punto de suma, donde se comprueba con la entrada de referencia $R(s)$. La naturaleza en lazo cerrado del sistema se indica con claridad en la figura. La salida del bloque, $C(s)$ en este caso, se obtiene multiplicando la función de transferencia $G(s)$ por la entrada al bloque, $E(s)$ (Ogata, 2010, p. 18).

Cualquier sistema de control lineal puede representarse mediante un diagrama de bloques formado por puntos de suma, bloques y puntos de ramificación.

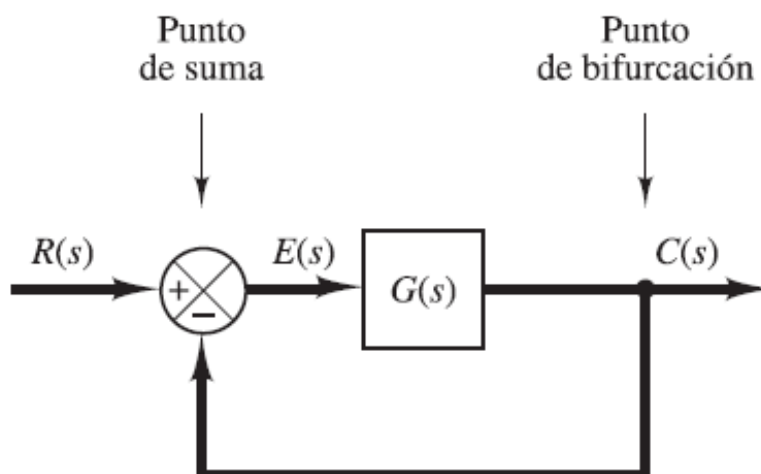


Figura 22. Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado.

Fuente: Ogata (2010) Ingeniería del control moderna

Cuando la salida se realimenta al punto de suma para cotejar con la entrada, es necesario cambiar la forma de la señal de salida en la de la señal de entrada. Por ejemplo, en un sistema de control de temperatura, por lo general la señal de salida es la temperatura controlada. “La señal de salida, que tiene la dimensión de la temperatura, debe convertirse a una fuerza, posición o voltaje antes de que pueda compararse con la señal de entrada” (Ogata, 2010, p. 19). Esta conversión se consigue mediante el elemento de realimentación, cuya función de transferencia es $H(s)$, como se aprecia en la figura 23.

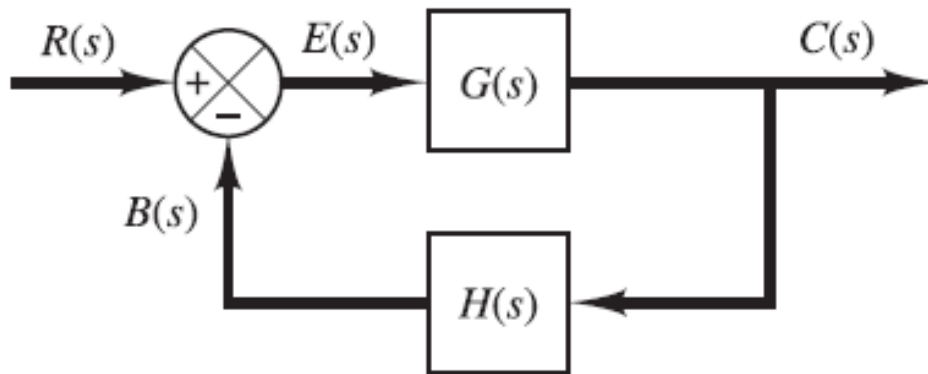


Figura 23. Sistema en lazo cerrado

Fuente: Ogata (2010) Ingeniería del control moderna

Función de transferencia en lazo cerrado.

Para el sistema que aparece en la figura 23, la salida $C(s)$ y la entrada $R(s)$ se relacionan del modo siguiente:

$$\begin{aligned}
 C(s) &= G(s)E(s) \\
 E(s) &= R(s) - B(s) \\
 &= R(s) - H(s)C(s) \\
 \dots(3)
 \end{aligned}$$

Si se elimina $E(s)$ de estas ecuaciones se obtiene:

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)]$$

...(4)

o bien,

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

...(5)

La función de transferencia que relaciona $C(s)$ con $R(s)$ se denomina función de transferencia en lazo cerrado. Esta función de transferencia relaciona la dinámica del sistema en lazo cerrado con la dinámica de los elementos de las trayectorias directa y de realimentación. A partir de la ecuación 5, $C(s)$ se obtiene mediante:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} R(s)$$

...(6)

Por tanto, la salida del sistema en lazo cerrado depende a primera vista tanto de la función de transferencia en lazo cerrado como de la naturaleza de la entrada.

Controladores automáticos

Comparan el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia, determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. Ogata (2010) explica "...la manera en la cual el controlador automático produce la señal de control se denomina acción de control". La figura 24 es un diagrama de bloques de un sistema de control industrial que consiste en un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor (elemento de medición).

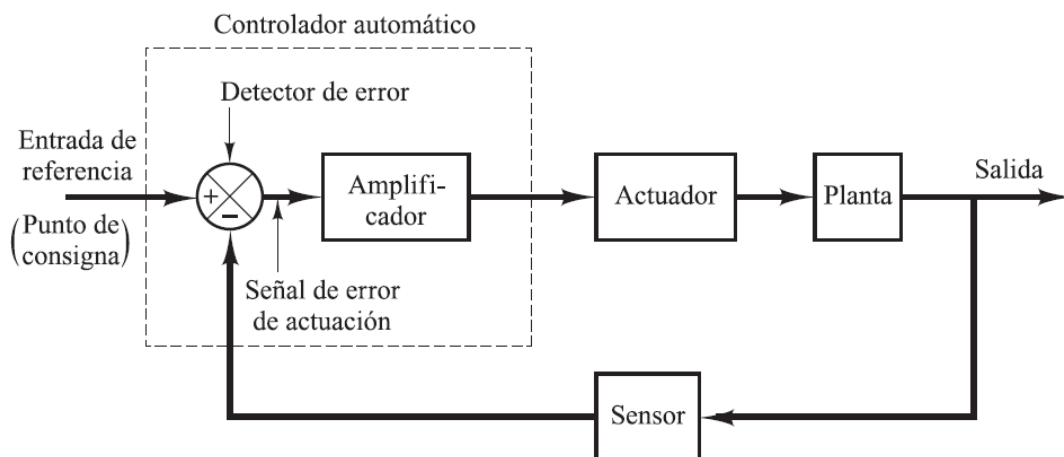


Figura 24. Diagrama de bloques de un sistema de control industrial

Fuente: Ogata (2010). Ingeniería del control moderna.

GRAF CET (como diagrama funcional o grafo)

GRAF CET (Gráfica Funcional de Etapas y Transiciones) es una herramienta que permite describir de forma gráfica el proceso secuencial de una automatización. Solbes (2014) explica que “constituye un lenguaje organizativo que facilita la estructuración y descomposición de un problema de control en partes de menor complejidad.”

Niveles del GRAFCET

Solbes (2014) indica que el GRAFCET puede utilizarse por describir tres niveles diferentes de especificación (ver figura 25):

Nivel 1. Descripción funcional. Se utiliza para una descripción general que permite comprender rápidamente un automatismo.

Nivel 2. Descripción tecnológica. Se realiza una descripción tecnológica y operativa. En este GRAFCET quedan definidos los elementos utilizados en la automatización de una forma más técnica.

Nivel 3. Descripción operativa. En este nivel se define de forma concreta el automatismo que controla el sistema (p.123).

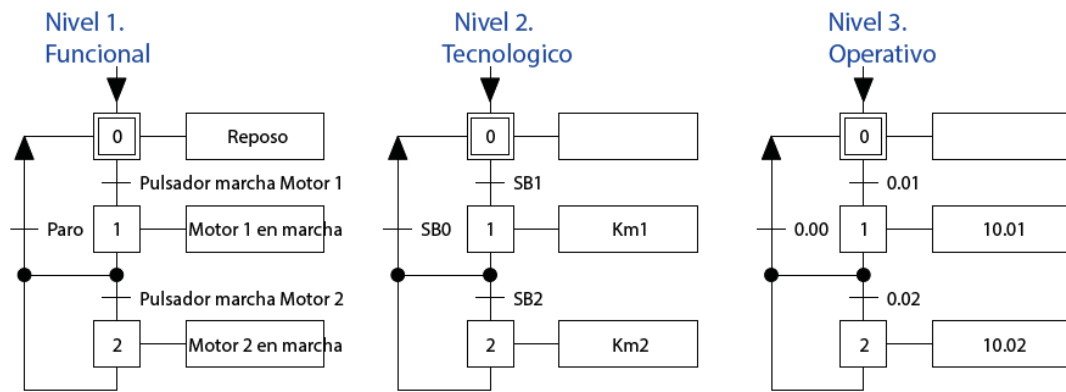


Figura 25. Niveles GRAFCET

Fuente: Solbes (2014). Automatismos Industriales

GEMMA

La guía GEMMA (*Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrets*) designa como la guía de estudio de los modos de marcha y paro.

Ponsa y Vilanova (2005) indican que se complementa con la representación GRAFCET y pretende dar cabida a una metodología que incluya los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado, junto con el funcionamiento deteriorado ante anomalías e incluso el tratamiento de situaciones de emergencia en previsión de posibles daños humanos o materiales. (p. 37)

La primera idea asociada a la guía GEMMA que conviene ajustar es que se trata de un enfoque de diseño estructurado. En el diseño estructurado de un sistema automatizado, aparecen tres módulos:

- Módulo de seguridad
- Módulo de modos de marcha
- Módulo de producción

La jerarquía ilustrada en la figura 26 pretende intensificar la atención en el aspecto de seguridad de los sistemas automatizados en entornos productivos, como por ejemplo en situaciones de emergencia, en situaciones de fallos de dispositivos, o en situaciones de producción defectuosa, de forma que, ante estas contingencias, el módulo de

seguridad es prioritario respecto a los otros módulos (Ponsa y Vilanova, 2005, p. 37).

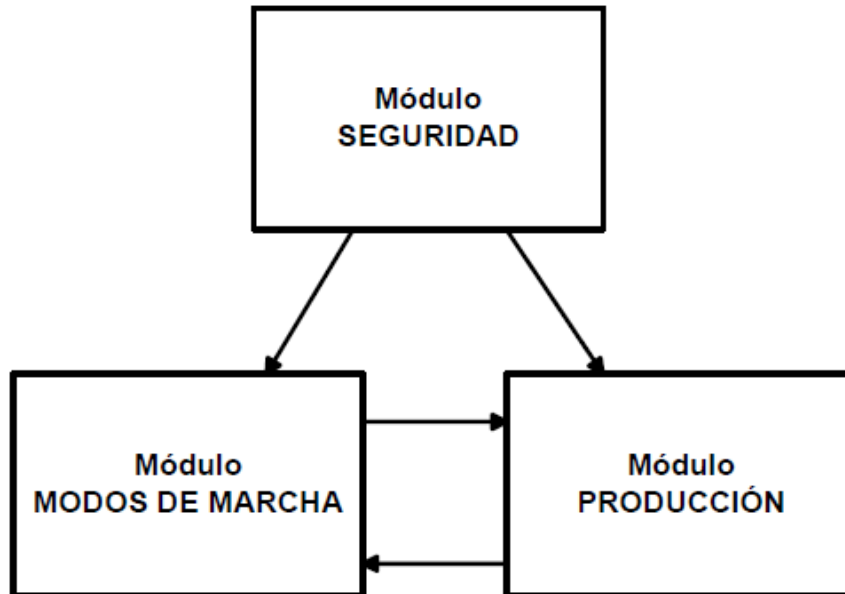


Figura 26. Estructura modular del diseño estructurado de sistemas

Fuente: Ponsa y Vilanova (2005). Automatización de los procesos mediante la guía GEMMA

Metodología

El marco metodológico consta de las fases siguientes, que el operario debe realizar:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

La figura 27 ilustra el orden de las fases. Es decir, si la metodología quiere llevarse a la práctica hay que seguir paso a paso el método de forma secuencial. Es importante detallar el rol del operario en este esquema. “El operario lleva a cabo cada una de las fases; hace la transición entre una fase y la siguiente, y, finalmente, se encarga de proceder a una iteración

para rehacer el primer ciclo para introducir mejoras” (Ponsa y Vilanova, 2005, p. 39).

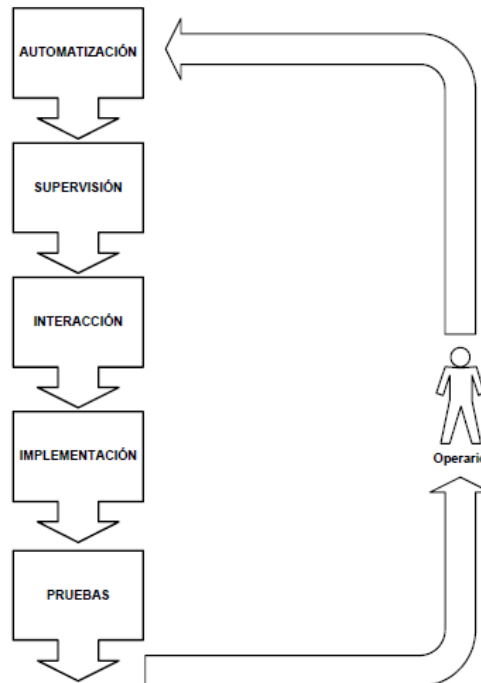


Figura 27. Marco metodológico genérico

Fuente: Ponsa y Vilanova (2005) Automatización de los procesos mediante la guía GEMMA

Recubrimientos electrolíticos

Giudice y Pereyra (2004) lo describen como “la deposición electrolítica de un metal desde un medio fluido (acuoso, no acuoso, fundido) es la cristalización del mismo sobre lugares activos del metal de base por acción de la corriente eléctrica” (p. 18). En general, por este medio se procura obtener recubrimientos de buena calidad con ahorro del metal de protección.

Las propiedades superficiales que en general tratan de ser mejoradas mediante estos recubrimientos son:

- Reflectancia y apariencia
- Dureza
- Resistencia a la corrosión

- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la fricción

El principio básico de los procesos de recubrimientos electrolíticos consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie como se puede apreciar en la figura 28. (Sociedad Pública de Gestión Ambiental, 2001, p. 29)

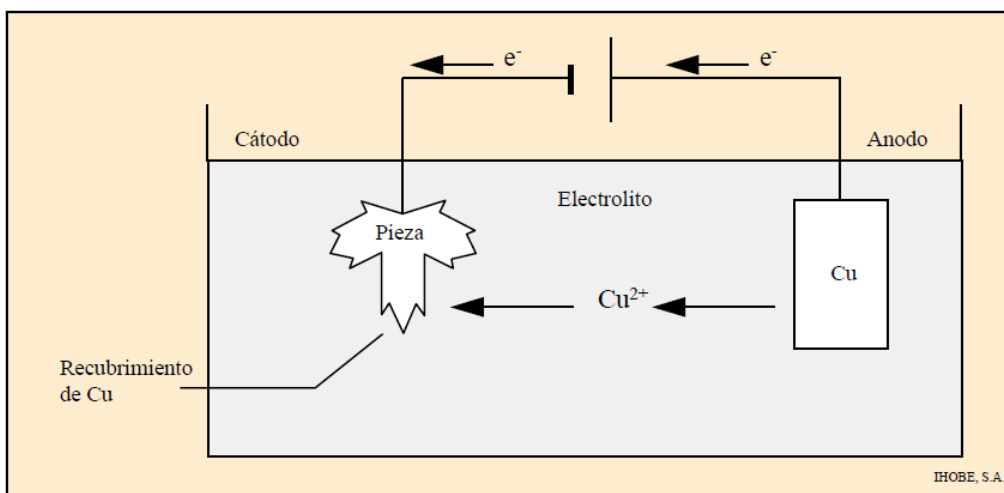


Figura 28. Principio de la deposición electrolítica.

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2001) Recubrimientos electrolíticos

Giudice y Pereyra (2004) detallan que las variables fundamentales a considerar para un recubrimiento electrolítico son: densidad de la corriente, composición adecuada del baño, agitación, temperatura, distribución de ánodos, etc.

- a) Densidad de corriente: se procura trabajar a altas densidades de corriente, para lo cual se hace necesario la agitación del baño por medios mecánicos o por ultrasonido, elevación de la temperatura y regulación máxima de metal en el baño.
- b) Agitación del baño: La forma de agitación del baño es de importancia, siendo inconveniente la agitación mecánica por gases y resultando

muy apropiada la de reciclo del baño con filtración, particularmente en algunos tipos de baños.

- c) Temperatura del baño: Una elevación de la temperatura favorece la velocidad del proceso (mayor densidad de corriente). Al mismo tiempo, una mayor temperatura provoca un mayor crecimiento de los cristales lo que provoca un recubrimiento más blando y que a veces tiene valor práctico.
- d) Composición del baño: Se procura que en el baño se tenga una concentración potencial muy alta del ión metálico que debe reducirse, por lo que se emplean sales de ácidos inorgánicos o sales complejas.
- e) Agentes humectantes y abrillantadores: su función es modificar la tensión superficial de la disolución. Se los emplea normalmente a los efectos de lograr un mejor mojado del metal a recubrir o para que actúen sobre el acabado del recubrimiento con el objeto de evitar un proceso posterior de pulido. (pp. 18-19)

En la tabla 4 se relacionan los principales campos de aplicación para los diferentes tipos de revestimiento. El área de recubrimientos funcionales se ha subdividido en tres grupos:

- recubrimiento para la protección contra el desgaste y la fricción
- recubrimientos con propiedades eléctricas especiales, p.ej. alta conductividad
- recubrimientos que posibilitan la realización de soldaduras

Tabla 4. Principales campos de aplicación de los recubrimientos electrolíticos

Campos de aplicación de los recubrimientos					
Tipos de recubrimientos	Decorativos	Protección		Recubrimientos funcionales	
		Anticorrosiva	Antifricción	Electrotécnica	Soldadura
Plomo					+
Aleaciones de plomo-estaño		+	+	+	+
Cromo	+	+	+		
Oro y aleaciones de oro	+	+		+	+
Cobre	+			+	+
Aleaciones de cobre	+				+
Níquel (electrolítico)	+	+	+	+	+
Níquel (químico)	+	+	+		+
Plata	+			+	+
Cinc		+			
Estaño		+		+	+

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2001) Recubrimientos electrolíticos

Preparación de la superficie

Alzate, Oquendo y Muñoz (2005) indica que “la preparación de la superficie, la limpieza y la creación de condiciones químicas apropiadas en la pieza a ser tratada, son esenciales para asegurar que el

recubrimiento se comporte adecuadamente una vez la pieza entre en uso” (p. 8). Es decir, si una superficie no se encuentra limpia, es muy probable que los recubrimientos no se adhieran adecuadamente a la superficie ni eviten la formación de corrosión en ella.

En general la preparación de la superficie incluye las siguientes etapas:

Pre tratamientos mecánicos

En esta etapa se eliminan las asperezas o desperfectos de las superficies y otras imperfecciones físicas que pueden intervenir en el buen recubrimiento de la pieza. “...la pieza se somete al proceso de pulido por medio de equipos como vibradores, sistemas de bandas abrasivas, etc., las cuales pulen la superficie de la pieza. Esta operación requiere el uso de ceras” (Alzate, Oquendo y Muñoz, 2005, p. 8). En la figura 29 se muestra diagrama que explica el balance de materias en los pre tratamientos mecánicos.

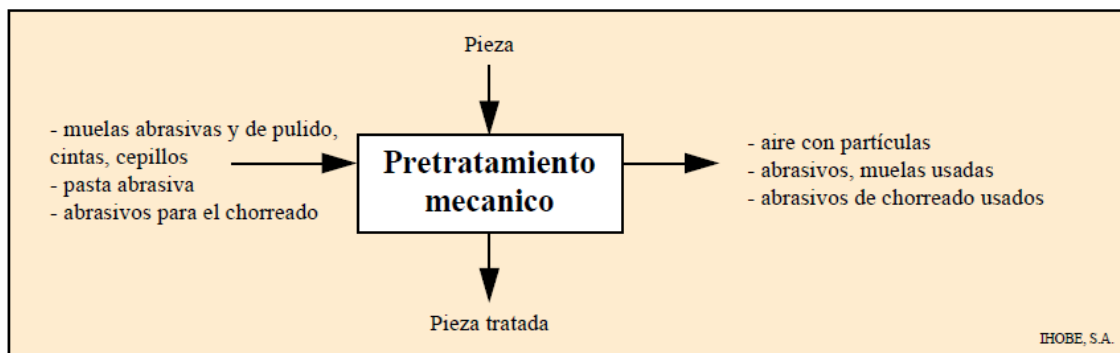


Figura 29. Balance de materias en el pre tratamiento mecánicos

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2001) Recubrimientos electrolíticos

Desengrase

En la limpieza de las piezas se emplean grasas, aceites, emulsiones de corte y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. A menudo también se engrasan las piezas como protección anticorrosiva temporal.

El desengrase puede efectuarse básicamente de dos formas: con solventes orgánicos o en soluciones acuosas alcalinas o ácidas con poder emulsificador. Los solventes que actualmente se siguen empleando son el tricloroetileno, el percloroetileno y el cloruro de metilo. Estos solventes

generalmente se usan como desengrasantes de piezas con mucha grasa o aceite adherido. Sin embargo, por sus características tóxicas su uso debe ser limitado a casos en los que por razones técnicas sea inevitable el empleo de solventes halogenados. (Castañeda y Montealegre, 2003, pp. 7-8).

En la figura 30 se muestra diagrama que explica el balance de materias en la operación de desengrase acuoso.

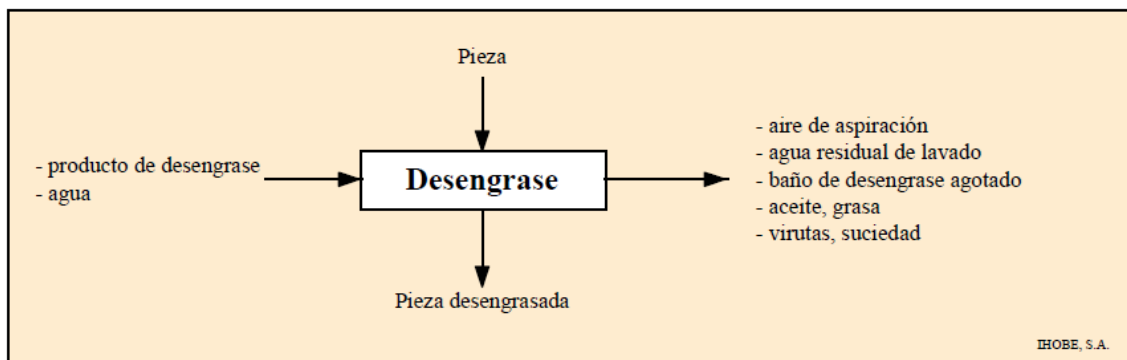


Figura 30. Balance de materias en la operación de desengrase acuoso

Fuente: Sociedad Pública de Gestión Ambiental (2001) Recubrimientos electrolíticos

Decapado

El objetivo del decapado es eliminar las capas de óxido formadas en la superficie de las piezas metálicas debido al contacto entre éstas y la atmósfera, por lo tanto, es un proceso que se realiza si el tipo de recubrimiento es de efecto protector. “El decapado se realiza sumergiendo las piezas en una solución que puede ser ácida o alcalina, dependiendo del tipo de proceso” (Alzate, Oquendo y Muñoz, 2005, p. 8). En la figura 31 se muestra diagrama que explica el balance de materias en la operación de decapado.

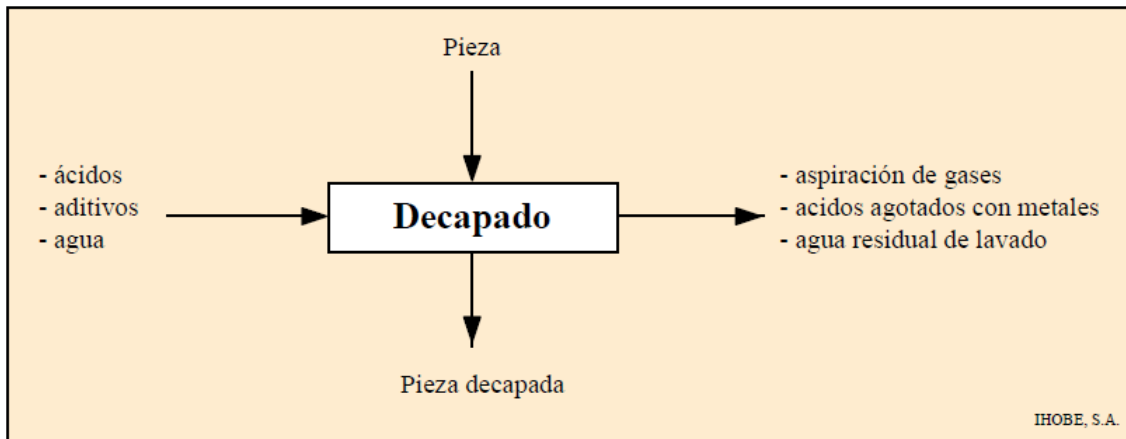


Figura 31. Balance de materias en la operación de decapado

Fuente: Sociedad Pública De Gestión Ambiental (2001) Recubrimientos electrolíticos

Activado

El proceso de activado, también llamado neutralizado e inclusive decapado suave, se utiliza para excluir la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal una vez que la superficie ha sido lavada en sucesivas etapas. "...esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva y por lo tanto mal conductora. Las soluciones empleadas son por lo general ácidos muy diluidos. Los activados permiten asimismo eliminar manchas generadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos" (Castañeda y Montealegre, 2003, pp. 8-9).

Tipos de recubrimiento

Yupanqui, Alcántara, Meléndez y Chinchay (2008) indican que existen diferentes tipos de recubrimientos: cobreado, níquelado, cromado, cincado y estaño-plomo.

- a) Cobreado. - Los electrolitos de cobre más empleados son aquéllos en base cianuro y en base sulfato.
- b) Níquelado. - El electrolito de níquel más empleado es el denominado watts que contiene cloruro, sulfato, ácido bórico y aditivos orgánicos en su composición.

- c) Cromado. - Los electrolitos de cromo contienen ácido crómico, pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y según su composición catalizadores que pueden ser fluorados.
- d) Cincado. - Tradicionalmente los más utilizados son los cincados cianurados de alta y media concentración de cianuro que poseen una buena tolerancia a la contaminación orgánica y permiten trabajar con pretratamientos no optimizados. Tienen una buena penetración.
- e) Anodizado. - Este proceso busca la conversión de la superficie de Aluminio a Óxido de Aluminio. Dentro de sus ventajas se encuentran: Mejor resistencia a la corrosión, mejor adherencia a la pintura, admisión de recubrimientos subsecuentes y aislamiento eléctrico, entre otros.
- f) Estaño-plomo. - Los electrolitos de estaño-plomo se utilizan para mejorar las propiedades que facilitan la soldadura sobre su superficie.
(pp. 313-315)

Propiedades del estaño

Una propiedad importante del estaño es su capacidad para formar aleaciones con otros metales, de donde se derivan gran número de aplicaciones. Una aleación de estaño y plomo, conocida como soldadura blanda, se utiliza mucho para unir metales y aleaciones en fontanería y en las industrias eléctrica, automovilística y de otro tipo, además de como aparejo en el acabado de las carrocerías de los automóviles.

El estaño entra en gran número de aleaciones no ferrosas, como el bronce fosforoso, el latón ligero, el bronce industrial, el latón de alta resistencia a la tracción, el bronce de manganeso, las aleaciones troquelables, los metales de rodamientos, el metal tipo y el peltre. La aleación de estaño y niobio es superconductor y se utiliza en la fabricación de potentes electromagnetos. (Nordberg, 2009, p. 63)

Los productos químicos de estaño, tanto inorgánicos como orgánicos, se utilizan mucho en las industrias de galvanoplastia, cerámica y plásticos, y en la agricultura.

Características

En la tabla 5 se observa a que temperatura de fusión se necesita para el proceso de recubrimiento de estaño en las placas de cobre y con este dato se logra tener un margen de adecuado del mismo con la finalidad de no dañar la pieza a cubrir, entre otras propiedades de este.

Tabla 5. Principales características del estaño

Nombre	Estaño
Número atómico	50
Valencia	2,4
Electronegatividad	1,8
Radio covalente (Å)	1,41
Radio iónico (Å) (estado de oxidación)	0,71 (+4)
Radio atómico (Å)	1,62
Configuración electrónica	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²
Primer potencial de ionización (eV)	7,37
Masa atómica (g/mol)	118,69
Densidad (g/ml)	7,30
Punto de ebullición (°C)	2270
Punto de fusión (°C)	231,9

Fuente: <https://bit.ly/2KS0WID>

Estañado

El proceso de estañado electrolítico consiste básicamente en la deposición electrolítica de una fina capa de estaño, "...el espesor es de 0.00038 mm a 0.00155 mm, sobre la superficie de una cinta de acero que ha sido sometida previamente a un proceso de limpieza

complementándose posteriormente con un proceso de terminación” (Departamento de Ingeniería Metalúrgica, 2003, p. 116).

Acabado

Alzate, Oquendo y Muñoz (2005) explican que luego del recubrimiento es necesario realizar varias etapas claves para dar el acabado deseado a la pieza. Estas etapas son:

- a) Recuperador (Enjuague estanco): Después del tratamiento con las sales en el baño de recubrimiento, las piezas se enjuagan en un tanque con agua para limpiarlas de residuos procedentes del baño anterior.
- b) Enjuagues: Después que las piezas pasan por el enjuague estanco, todavía tienen residuos de las sales de recubrimiento, lo que hace necesario un nuevo enjuague en tanques de agua corriente.
- c) Pasivado/Enjuague: Una vez que la superficie se encuentre libre de sales, se sellan los poros, se elimina la posible reactividad del acabado y se dan los últimos retoques estéticos por medio de sales de Cromo principalmente en baños que no requieren electricidad.
- d) Secado: Después de tener el acabado final, las piezas se secan para eliminar el agua residual proveniente del enjuague y así, evitar que el producto salga con manchas, para luego lacar y proseguir a su embalaje y venta. (p. 10)

La figura 32 presenta, a modo de ejemplo, las etapas típicas de un proceso de recubrimiento electrolítico, específicamente de anodizado. Estas etapas varían en algunos aspectos según el tipo de material y el recubrimiento a realizar (especialmente las etapas de decapado y activado)

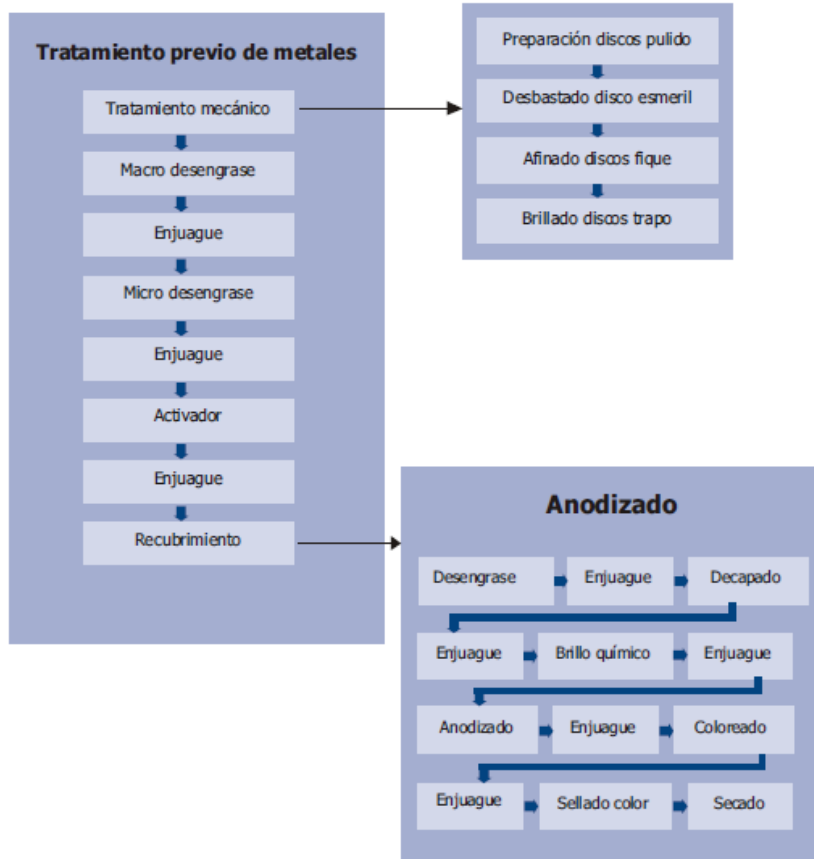


Figura 32. Diagrama de flujo de un proceso típico de recubrimiento electrolytico

Fuente: Alzate, Oquendo y Muñoz (2005) Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolyticos en Colombia

CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1 Condiciones requeridas

El sistema automatizado cumplió con la finalidad de desarrollar de manera exitosa las actividades planteadas en la presente tesis con las siguientes características funcionales

- El sistema automatizado trabaja en un rango de temperatura de 210 a 240 °C.
- El sistema puede controlarse de manera automática y manual.
- Cuenta con un sistema de control eléctrico-mecánico para señales digitales y analógicas.
- Sistema electro neumático, con pistones y accesorios de acero inoxidable 316L
- El material de la estructura será de acero al carbono A36
- El tiempo de recubrimiento de estaño será controlado bajo supervisión del Controlador Lógico Programable
- Un sistema de extracción de gases tóxicos

3.2 Diseño Mecánico

En esta sección se explica cuáles fueron las consideraciones mecánicas tomadas del sistema automatizado que se usó para el desarrollo de la presente tesis. En la figura 33 se muestra el diseño mecánico general del sistema automatizado realizado en SolidWorks.

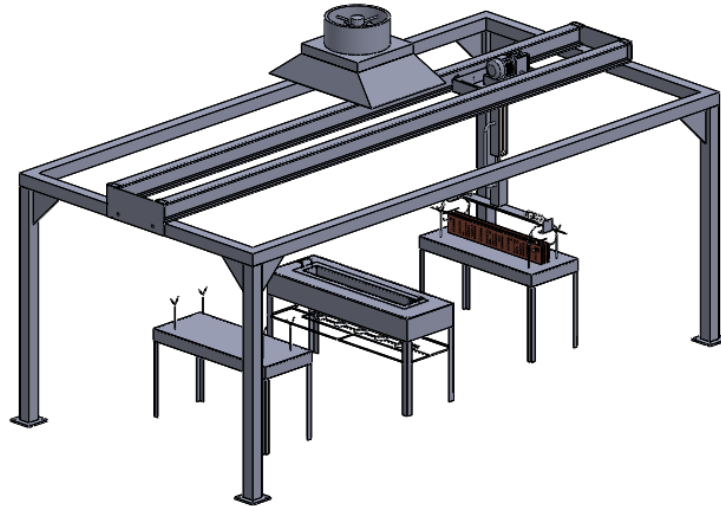


Figura 33. Diseño general del sistema automatizado de recubrimiento de estaño

Fuente: Elaboración propia

El diseño mecánico se divide en 4 etapas:

- a) Diseño de la estructura y extractor de gases.
- b) Diseño de la bandeja de estañado y módulo de bases fijas.
- c) Diseño del carro transportador.
- d) Cálculo y selección de actuadores.

El material empleado para el diseño de la estructura, bandeja, módulos de bases fijas y carro transportador es de acero al carbono A36 ya que es usado comúnmente para instalaciones industriales y soporta elevadas temperaturas, tal es en el caso para la bandeja recubridora de estaño en donde se somete a altas temperaturas para la fundición de este. La medida base en la que se vende en el mercado es en pulgadas, por esta razón en las partes detallaremos en esta medida, pero en las fichas técnicas tomaremos en cuenta la unidad del sistema internacional (milímetros)

Diseño de la estructura y extractor de gases

Características de la estructura

Bajo ella se construyó el sistema automatizado, en donde consta de los demás diseños mecánicos tales como la bandeja de estañado, módulo de bases fijas y carro transportador. Sobre ella se construyó el carril de transporte, donde se montará el carro transportador para el desplazamiento horizontal del proceso automatizado. En la figura 34 se muestra la vista isométrica de la estructura.



Figura 34. Vista isométrica de la estructura

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se alojaron en la estructura sensores y el controlador tales como: inicio y fin de carrera, sensor central de posición para recubrimiento y el PLC.

Dimensiones de la estructura

La estructura tiene las siguientes dimensiones: 2000 x 2500 x 5000 mm (Alto x Ancho x Largo). El ancho del carril es de 500 mm de ancho, esta medida se tomó en cuenta posteriormente para el diseño del carro transportador. En la figura 35 se muestra la ficha técnica de la estructura.

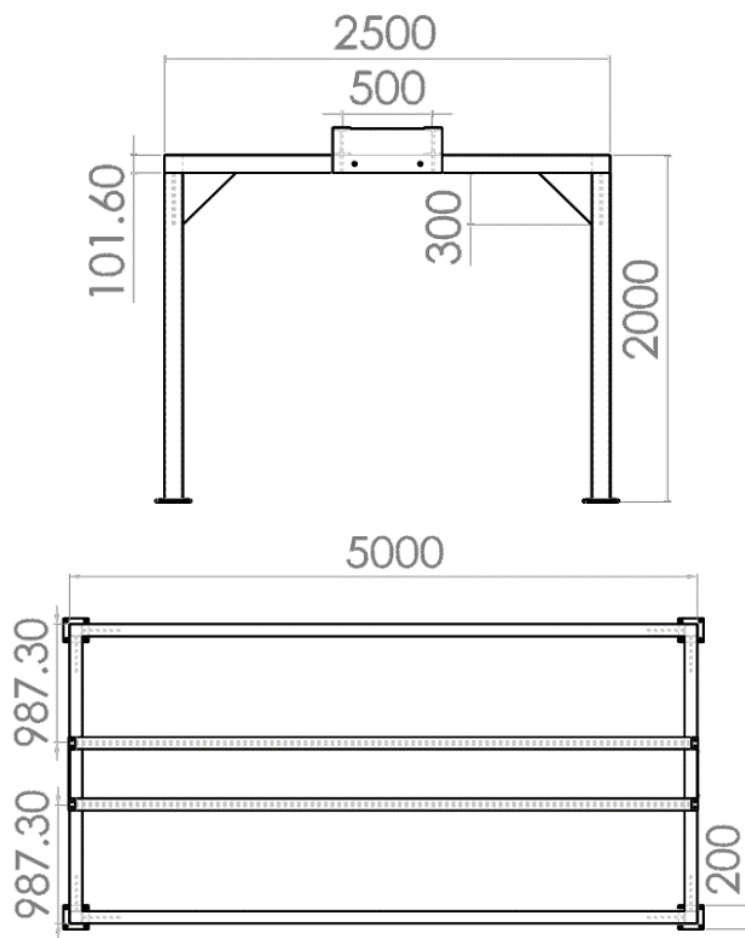


Figura 35. Ficha técnica de la estructura

Fuente: Elaboración propia

Partes de la estructura

La estructura está compuesta por 6 piezas distintas, entre ellas tenemos tubos cuadrados, cuadrante, vigas, cartelas y bases. En la figura 36 se muestra el exploso de la estructura del cual a continuación se explicará con más detalles cada parte.

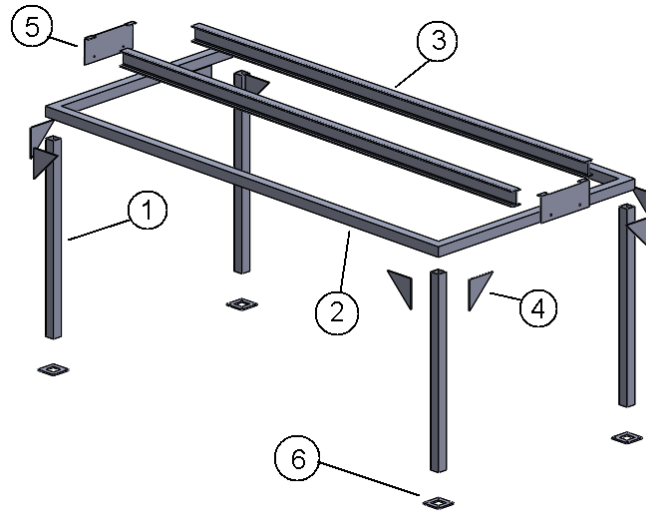


Figura 36. Explosión de la estructura

Fuente: Elaboración propia

1. Tubo cuadrado. Para fabricar el cuadrante y para mantener elevado la estructura. Las medidas son de 4"x 4" con espesor de 1/8".
2. Cuadrante. Principalmente para el soporte del carril de transporte y está fabricado con los tubos cuadrados mencionados anteriormente.
3. Viga. Esta se usa como carril de transporte para el desplazamiento horizontal del carro transportador, la medida de la viga es de 4" x 6" con espesor de 3/8".
4. Cartela triangular recta. Para evitar la deflexión y a la vez mantiene perpendicular al cuadrante con las patas, tiene un espesor de 1/2".
5. Cartela de seguridad para el carro. Se usa como límite o tope para el carro transportador, tiene 1/4" de espesor.
6. Base. Se usa como soporte para las patas de la estructura que en este caso se ensamblará con los tubos cuadrados, tiene 1/2" de espesor.

Características del extractor de gases

El extractor de gases se dimensiona sobre la estructura ya que está encajada en el techo, como se planteó en un principio este extractor se diseñó para absorber los gases tóxicos que emana el estaño al momento de recubrirlo con las placas de cobre con el fin de proteger la salud del

operador. En la figura 37 se muestra la vista isométrica del extractor de gases.

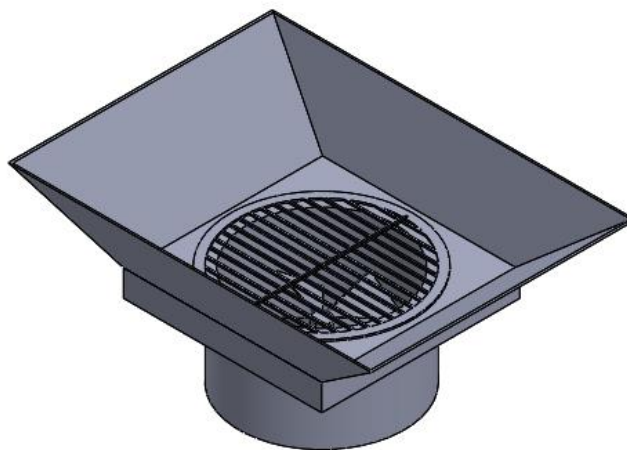


Figura 37. Vista isométrica del extractor de gases

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones del extractor de gases

El extractor tiene las siguientes dimensiones 500 x 800 x 1100 mm (alto x ancho x largo), el diámetro de la tolva es de $\varnothing 500$ mm y un alto de 200 mm, medida suficiente para poder canalizar los gases tóxicos hacia su expulsión. En la figura 38 se muestra la ficha técnica del extractor de gases.

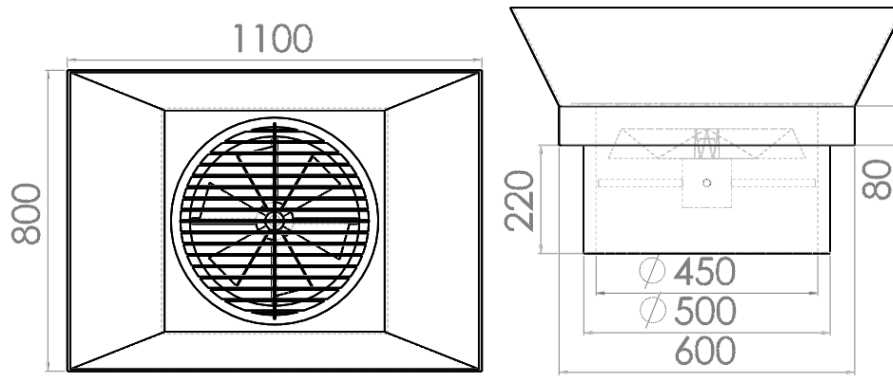


Figura 38. Ficha técnica del extractor de gases

Fuente: Elaboración propia

Partes del extractor de gases

El extractor de gases está compuesto por 3 piezas distintas, entre ellas tenemos la rejilla, tolva y turbina. En la figura 39 se muestra el exploso del extractor que a continuación se explicará con más detalles cada parte.

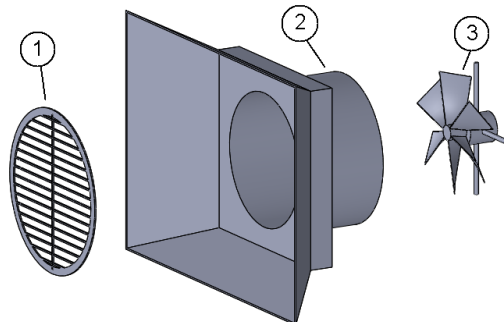


Figura 39. Exploso del extractor de gases

Fuente: Elaboración propia

1. Rejilla. Protección para la turbina. Tiene 550 mm de diámetro con 1/4" de espesor.
2. Tolva. Para la canalización de los gases tóxicos hacia su expulsión, tiene 1/2" de espesor.
3. Turbina. Es de tipo axial, sus palas miden 175 x 120 mm (largo x ancho) con un eje de 50 mm de diámetro quien se acopla a un motor de 100 mm de diámetro.

Diseño de la bandeja de estaño y módulos de bases fijas

Características de la bandeja

En la bandeja se realiza el proceso de recubrimiento del material estaño en las placas de cobre, este procedimiento estañará 10 placas por proceso. Al conjunto de placas se cobre lo llamaremos matriz de sujeción. En la figura 40 se muestra la vista isométrica de la bandeja junto con su soporte.

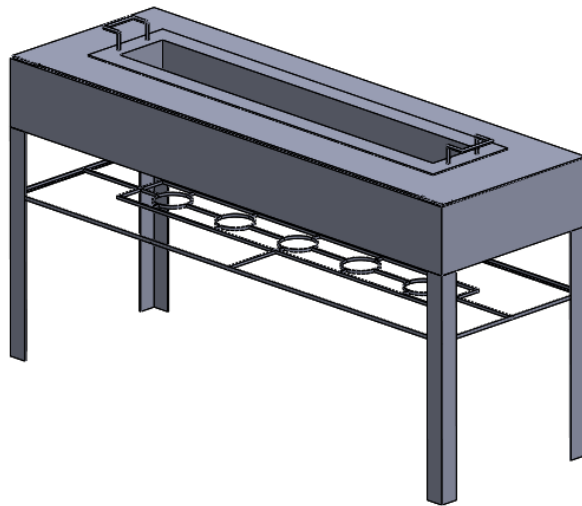


Figura 40. Vista isométrica de la bandeja con su soporte

Fuente: Elaboración propia

Así mismo cabe resaltar que en el proceso de recubrimiento se considera los pasos previos para el paso inicial, las placas de cobre deben estar libres de impurezas y decapadas por los ácidos correspondientes ya comentados en el capítulo 2 el cual muestran la variedad de limpiezas que se pueden realizar a las placas para su próximo recubierto de estaño.

Por otro lado, se alojaron sensores y actuadores tales como: el sensor de temperatura (termocupla tipo J) y los quemadores

Dimensiones de la bandeja

La bandeja junto con el soporte que lo mantiene tiene las siguientes dimensiones: 780 mm x 500 mm x 1500 mm (Alto x Ancho x Largo). La bandeja sola tiene 200 mm de alto (150 mm como límite de llenado de estaño) x 200 mm de ancho y 1090 de largo, estas medidas se toman en cuenta para calcular el volumen de estaño que se necesita en toda la bandeja del cual aproximadamente tiene 32.7 litros. En la figura 41 se muestra la ficha técnica de la bandeja.

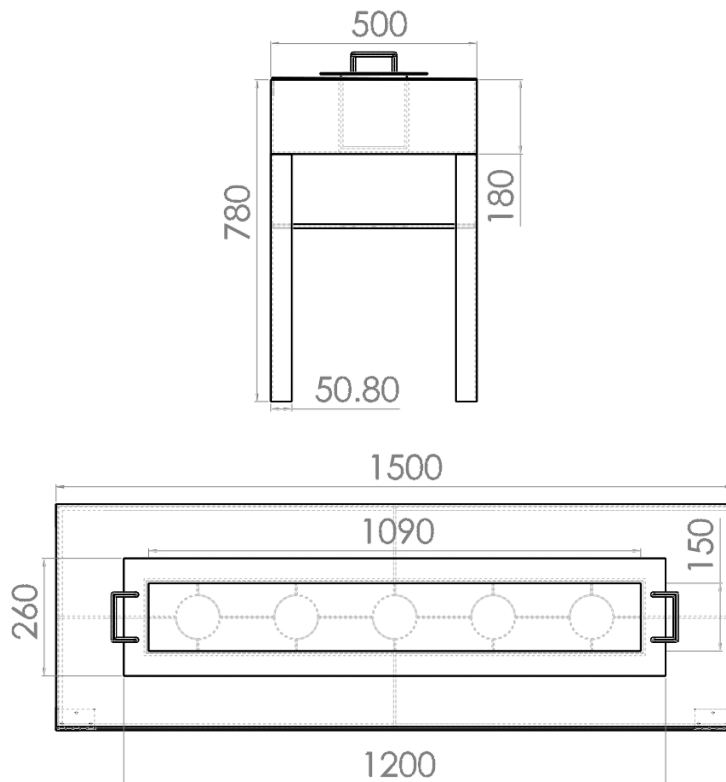


Figura 41. Ficha técnica de la bandeja junto con su soporte

Fuente: Elaboración propia

Partes de la bandeja

La bandeja está compuesta por ángulos, rejilla, caja y bandeja. En la figura 42 se muestra el explosivo de la bandeja junto con su soporte del cual a continuación se explicará con más detalles cada parte.

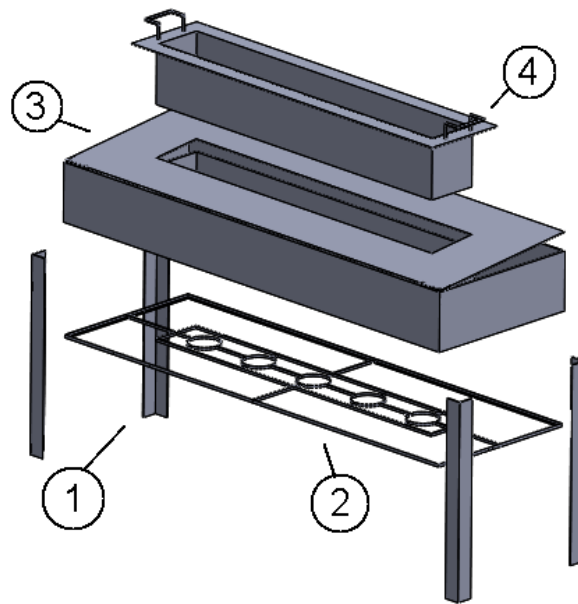


Figura 42. Explosión de la bandeja junto con su soporte

Fuente: Elaboración propia

- a) Ángulo. Esto se usa para mantener elevada la caja. Las medidas son de 4" x 4" con espesor de 1/8".
- b) Rejilla. En ella se posiciona los quemadores para aumentar la temperatura de estaño hasta su punto de fusión, tiene 1/4" de espesor.
- c) Caja para fibra de vidrio. La caja se diseñó de esta manera ya que en su interior se deposita fibras de vidrio, especialmente se eligió el llenado este material ya que es un buen aislante térmico, la misma caja tiene un espesor de 1/4".
- d) Bandeja. En ella se realizará el procedimiento del recubrimiento de estaño en placas de cobre, tiene 1/4" de espesor.

Características del módulo de base fija

Para el módulo de bases fijas tiene una función principal que es para la carga de la matriz de sujeción y para la descarga de placas estañadas. En la figura 43 se muestra la vista isométrica del módulo y la matriz de sujeción reposando sobre ella.

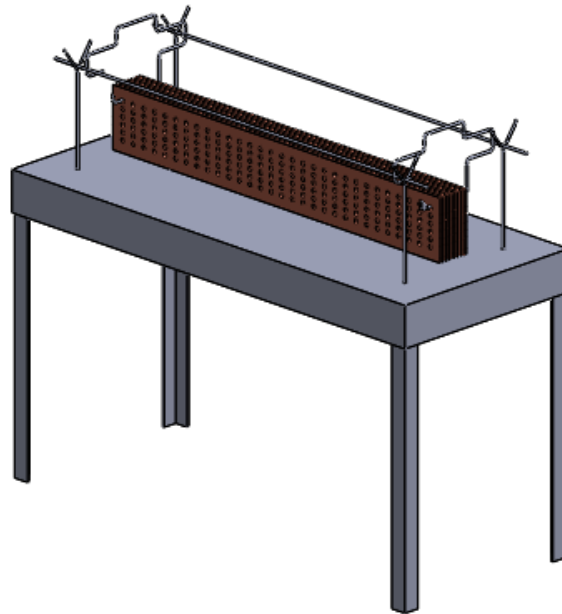


Figura 43. Vista isométrica del módulo de base fija y la matriz de sujeción

Fuente: Elaboración propia

En los módulos se alojarán sensores tales como: pulsadores de inicio y parada, sensor de presencia inicial de material y sensor de descarga final de material.

Dimensiones del módulo de base fija y matriz de sujeción

Los módulos de bases fijas tienen las siguientes dimensiones: 960 mm x 500 mm x 1200 mm (alto x ancho x largo) como se puede notar en la figura 44, mientras que la matriz de sujeción se dimensiona de acuerdo con las medidas preestablecidas de las placas de cobre que en este caso son de 1000 mm x 150 mm (largo x ancho) como se puede observar en la figura 45.

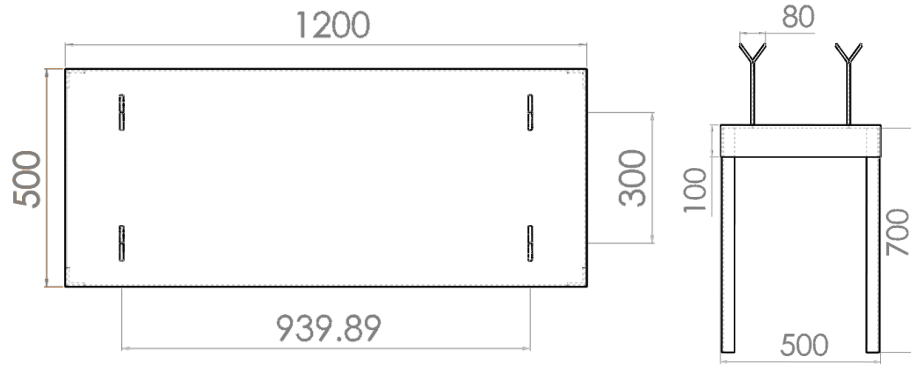


Figura 44. Ficha técnica del módulo de base fija

Fuente: Elaboración propia

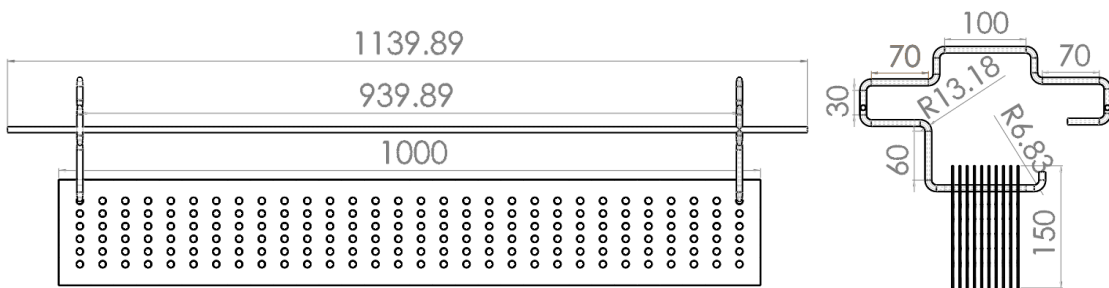


Figura 45. Ficha técnica de la matriz de sujeción

Fuente: Elaboración propia

Partes del módulo de base fija

El módulo de base fija está compuesto por una mesa y parantes. En la figura 46 se muestra el explosivo del módulo de base fija que continuación se explicará con más detalles cada parte.

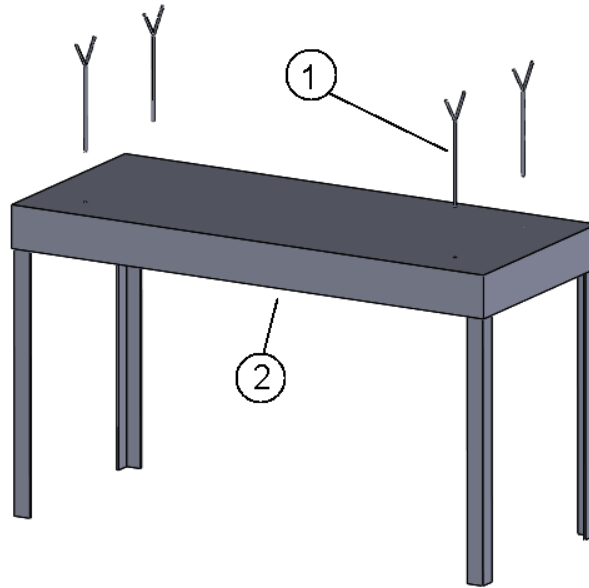


Figura 46. Explosión del módulo de base fija

Fuente: Elaboración propia

1. Parantes. Sobre ella reposa la matriz de sujeción para su carga y descarga., tiene 1/4" de espesor.
2. Mesa. Sobre ella se adhiere los parantes para mantener elevado la matriz de sujeción.

Diseño del carro transportador

Características del carro transportador

El carro transportador permite realizar el desplazamiento horizontal y vertical a lo largo y alto respectivamente de la matriz de sujeción para su proceso automatizado de recubrimiento de estaño. En la figura 47 se muestra la vista isométrica del carro transportador.

Por otro lado, en el carro se aloja sensores y actuadores tales como:

- a) Sensor de posición inicial vertical
- b) Sensor de posición final vertical
- c) Cilindros neumáticos
- d) Electroválvulas

a. Motorreductor

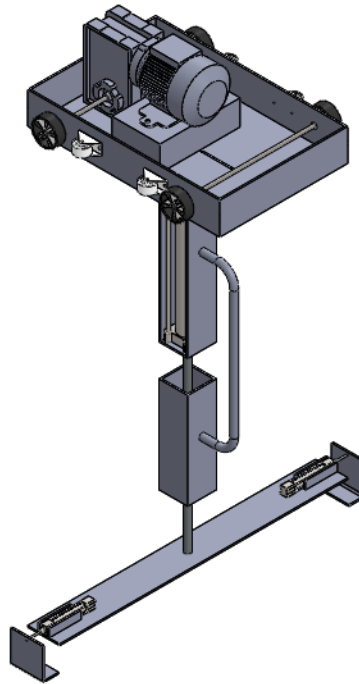


Figura 47. Vista isométrica del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

Dimensiones del carro transportador

Las dimensiones principales del carro transportador es la caja, en donde se considera una medida previamente establecida para el carril de transporte fabricado en la estructura, en donde se consideró 500 mm de ancho, entonces para la fabricación de la caja se tomó las medidas 100 mm x 400 mm x 600 mm (alto x ancho x largo) del cual los ejes tienen la medida de 492.48 mm, acercándose al ancho del carril de transporte. El diámetro de la rueda es de 80 mm, medida preestablecida ya que el alto de la viga es de aproximadamente 130 mm de alto. En la figura 48 se muestra la ficha técnica del carro.

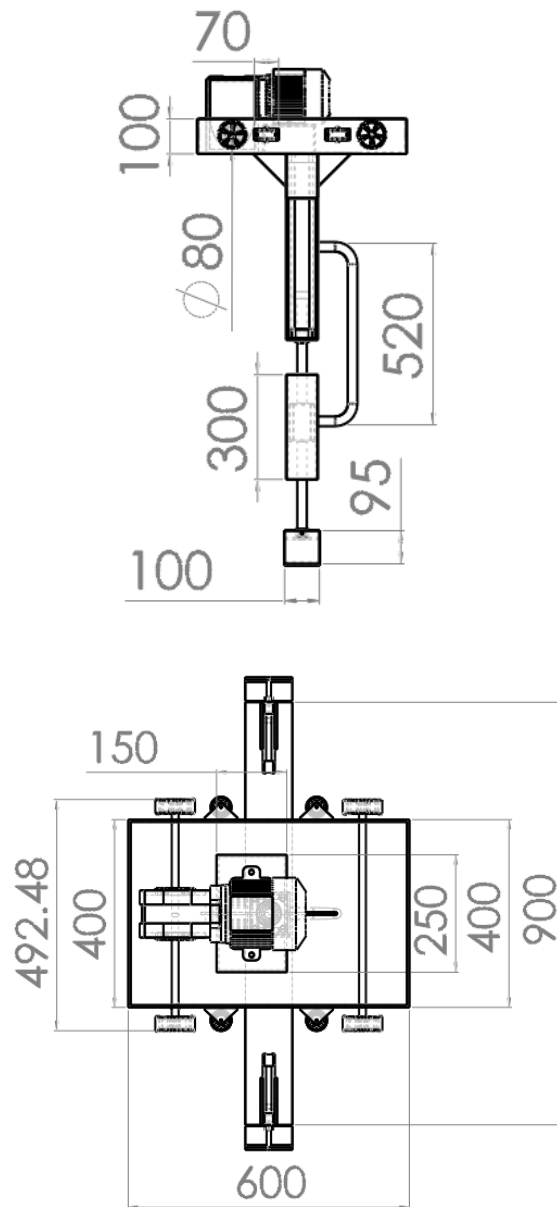


Figura 48. Ficha técnica del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

Partes del carro transportador

El carro transportador está compuesto por una caja, cartela, ruedas, ruedas fijas, plancha y ganchos verticales. En la figura 49 se muestra el explosivo del carro en donde a continuación se explicará con más detalles cada parte.

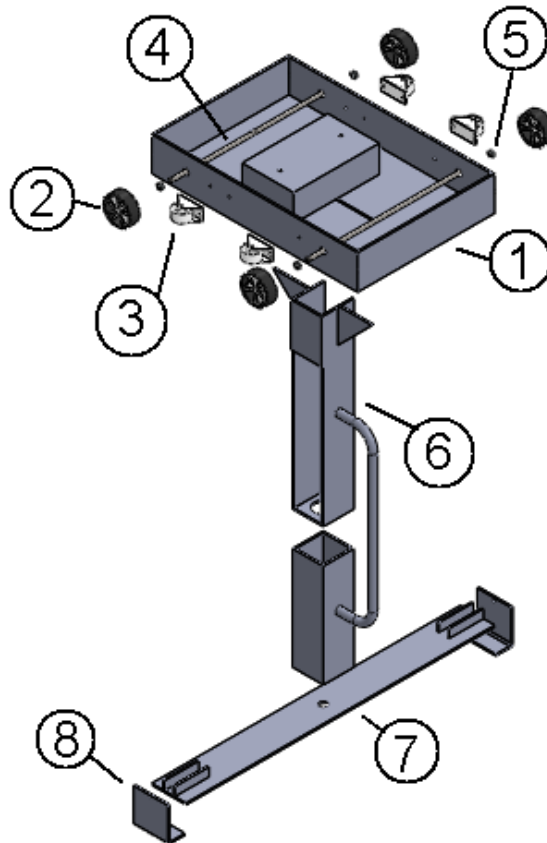


Figura 49. Explosión del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

1. Caja. Se diseñó de esta manera para ensamblar el motor junto con su caja reductora, así mismo consta de agujeros para empalmar los rodamientos y las ruedas fijas.
2. Rueda. En ella se desplazará a través del carril de transporte fabricado con las vigas tipo H, tiene un diámetro de 80 mm.
3. Rueda fija. Esto se usa para evitar la inclinación del carro transportador al realizar su desplazamiento horizontal. Al igual que la rueda se desliza en el carril de transporte fabricado con las vigas tipo H.
4. Ejes. Los ejes de menor proporción se usan para las ruedas traseras, en donde se acopla con el motorreductor. El eje de mayor proporción es para las ruedas delanteras.
5. Rodamiento. Este se usa para reducir la fricción entre los ejes y las ruedas, facilitando el desplazamiento horizontal del carro transportador.

6. Cartela para cilindro de doble efecto. Esta cartela especial cumple con diferentes funciones: 1. Mantener perpendicular el mismo con la caja del carro transportador, 2. Alojarse el cilindro de doble efecto, 3. Evitar el giro de la plancha.
7. Plancha. En ella se alojará los cilindros de simple efecto y a su vez los protegerá de salpicaduras al momento de realizar el proceso de recubrimiento de estaño, también se conectará con la cartela para cilindro de doble efecto para evitar su giro.
8. Ganchos. Esto se usará para la sujeción del conjunto de placas de cobre.

Cálculo y selección de actuadores

Cálculo de torque en el motor

El motor por seleccionar debe cumplir las siguientes condiciones:

1. El carro transportador debe soportar el peso del mismo motorreductor, cilindros neumáticos, soporte y la matriz de sujeción.
2. El carro transportador debe moverse a aproximadamente a 0.36 km/h.

Con los datos mencionados se realizaron los siguientes cálculos:

Se desarrolló un diagrama de cuerpo libre (DCL) del carro transportador (ver figura 50) el carro transportador debe soportar el peso del mismo carro en su conjunto, los cilindros neumáticos, motorreductor y placas de cobre a estañar.

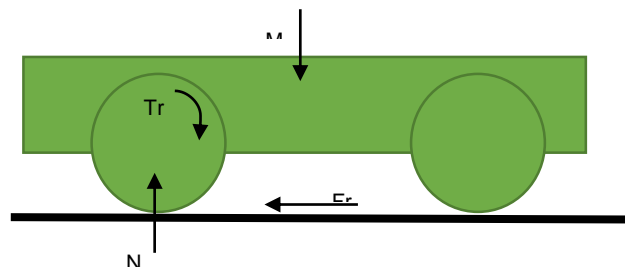


Figura 50. Diagrama de cuerpo libre del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

Las fuerzas que actúan sobre el carro transportador son:

M: Masa del carro, cilindros neumáticos y matriz de sujeción.

T: Torque generado por el motor

N: Fuerza normal, equivalente al de la Masa

Fr: Fuerza de fricción entre la rueda y la viga tipo H

La masa total sería aproximadamente de 52 Kg tomando en cuenta:

- Masa del carro transportador en su conjunto: 10 kg
- Masa estimada del motorreductor: 30 kg
- Matriz de sujeción (10 placas): 0.5 kg por placa = 5 kg
- 2 cilindros de simple efecto: 2kg cada cilindro = 2 kg
- 1 cilindro de doble efecto: 5 kg

Debido que el proceso automatizado de recubrimiento de estaño se sobredimensiona a una escala mayor, el cual nos permite tener más horas de trabajo, por esta razón llevamos la masa de un nivel estándar a una relación de 1 a 10, eso quiere decir que el sistema podrá mover hasta media tonelada de proceso continuo al 100% de su ciclo de trabajo, y para el proceso automatizado sólo se usara el 20% del ciclo de trabajo, esto lo usamos como factor de seguridad para el sistema.

Multiplicando la masa sobredimensionada (500 kg) por la gravedad obtenemos un peso de 4905 N. Para la fuerza estática (considerando como constante de fricción a $\mu F=0.8$) obtenemos lo siguiente:

$$Fr = \mu F * F = 0.8 * 4905 = 3924 N \quad \dots(7)$$

Para el cálculo del torque se tomó la siguiente consideración (radio de la rueda 4 cm)

$$T = d * Fr = 0.04 * 3924 = 156.96 N - m = 16 kg - m \quad \dots(8)$$

El valor obtenido es el torque máximo que el motorreductor debe generar trabajando al 100% de proceso continuo.

Por otro lado, para cumplir con los requerimientos es determinar la velocidad que queremos para el motorreductor, considerando como velocidad máxima de 0.36 km/h se obtiene:

$$W = \frac{v}{2*\pi*r} = \frac{0.36*1000/3600}{2*\pi*0.04} = 0.398 \text{ rps} \cong 23.87 \text{ rpm}$$

...(9)

Calculando la potencia del motor adecuada para el sistema utilizamos la siguiente fórmula:

$$P = \frac{T*w}{727.7} = \frac{16*23.87}{727.7} = 0.52483 \text{ HP}$$

...(10)

Con los valores obtenidos y cumpliendo con los requisitos explicados anteriormente el motorreductor adecuado para el carro transportador y para el buen funcionamiento del sistema debe contar con las características mostradas en la siguiente tabla: 6:

Tabla 6. Características del motorreductor

CARACTERÍSTICAS	VALOR	UNIDADES
Diámetro de motor	6	pulgadas
Torque	16	Kg-m
Velocidad	20	RPM
Potencia	1/2	HP
Corriente nominal	6	A
Corriente de pico	40	A

Fuente: Elaboración propia

Componentes seleccionados

Motorreductor trifásico

Para el desplazamiento horizontal del carro transportador se estará utilizando un motorreductor de la marca Sever, de 3 fases (trifásico) con una potencia de 1/2 HP, velocidad de 20 RPM y de tipo corona sin fin, estas características cumplen con el cálculo realizado anteriormente. En la figura 51 se muestra el motorreductor.



Figura 51. Motorreductor marca Sever

Fuente: <https://bit.ly/2y49l00>

Cilindros neumáticos

Para el desplazamiento vertical de la matriz de sujeción se estará utilizando un cilindro de doble efecto de la marca Mindman con diámetro 80 mm carrera 200mm, amortiguación neumática y preparada para detección magnética. A continuación, presentamos al cilindro elegido en la figura 52.



Figura 52. Cilindro de doble efecto Mindman modelo 960CILD080200

Fuente: <https://bit.ly/2NIOA6i>

Para el agarre de la matriz de sujeción se estará utilizando dos cilindros de simple efecto de la marca Mindman con diámetro 20 mm carrera 50mm, en simple efecto y preparado para detección magnética. A continuación, presentamos el cilindro elegido en la figura 53.



Figura 53. Cilindro de simple efecto Mindman modelo 960CILS020050

Fuente: <https://bit.ly/2y9pZwa>

3.3 Diseño Eléctrico

En esta sección se explica cuáles fueron las consideraciones eléctricas tomadas para energizar en su totalidad el sistema automatizado para el recubrimiento de estaño en placas de cobre, para ello se dividirá en tablero eléctrico, fuentes de 24 VDC, sistema de potencia y cambio de giro del motor y consumo de componentes a utilizar. En la figura 54 se muestra el esquema general eléctrico que alimenta a todo el sistema automatizado.

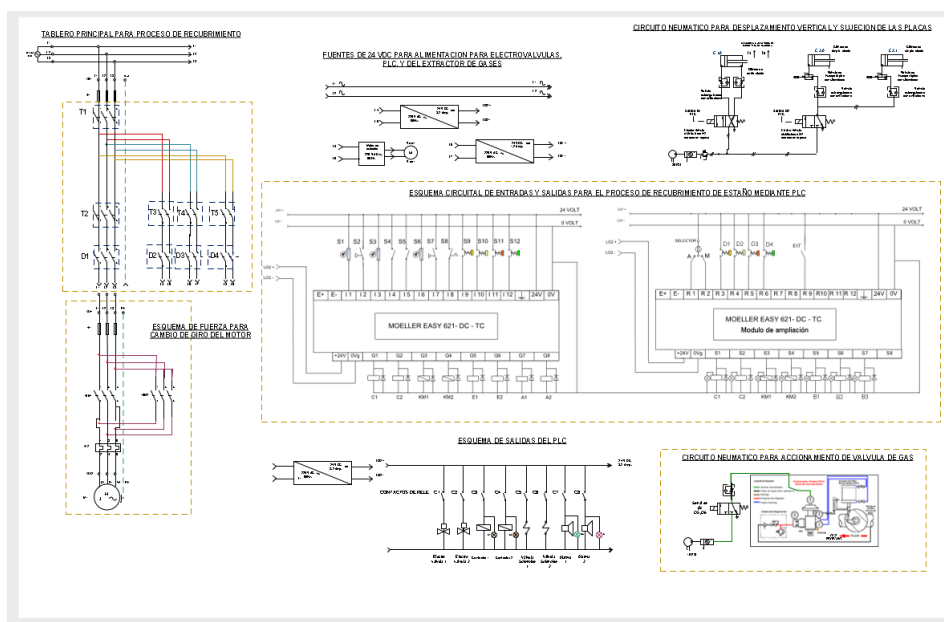


Figura 54. Esquema general eléctrico del sistema automatizado

Fuente: Elaboración propia

Tablero eléctrico

El tablero está alimentado por la línea de 220 VAC a 60 Hertz que nos entrega el suministro eléctrico, está compuesto por la llave térmica principal de 60 A trifásica y estos a sus derivados llaves térmicas de 32 A trifásicos y como factor de seguridad se colocó diferenciales de 32 y 20 A, esto es porque son sensibles a descargas eléctricas que pueden dañar al usuario y a los equipos eléctricos. En la figura 55 se muestra la distribución eléctrica del tablero.

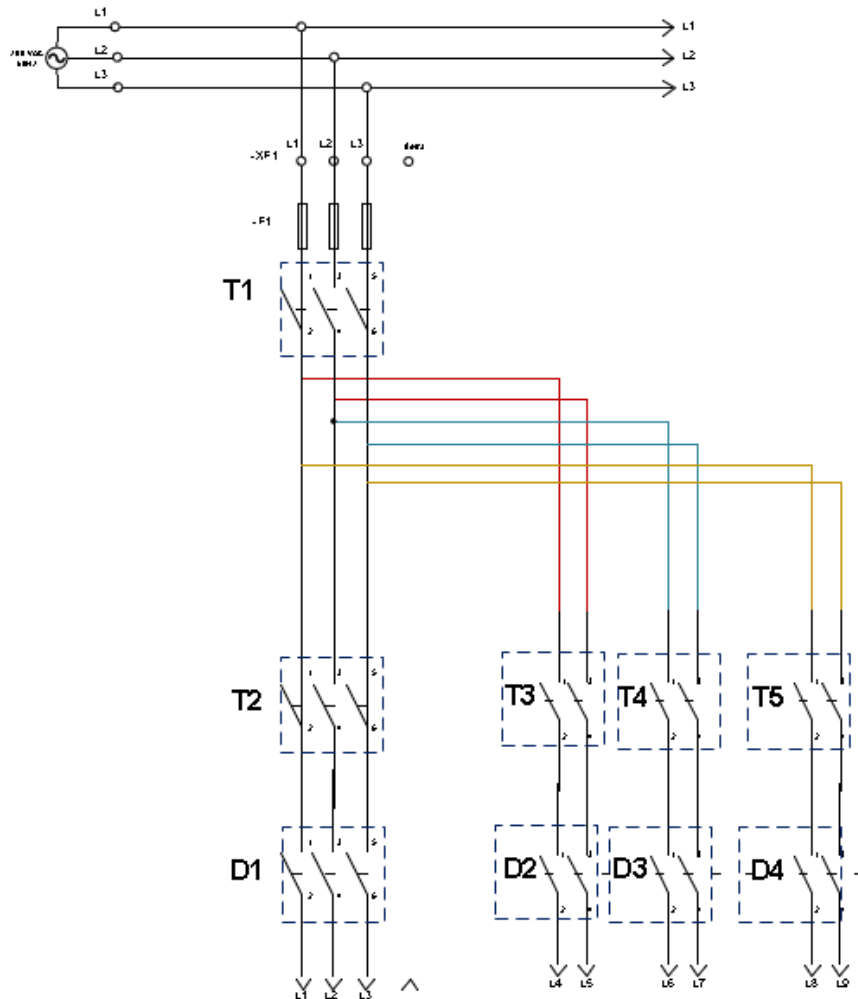


Figura 55. Distribución eléctrica del tablero 12 polos con diferenciales

Fuente: Elaboración propia

Donde:

T1: Llave general trifásica 60 Amp para el proceso automatizado

T2: Llave térmica trifásica 32 Amp para motor

T3: Llave térmica monofásica 32 Amp para fuente 24 VDC para electroválvulas

T4: Llave térmica monofásica 20 Amp para fuente 24 VDC para PLC y equipos auxiliares

T5: Llave térmica monofásica 32 Amp para extractor de gases

D1: Llave diferencial de 60 Amp para T2

D2: Llave diferencial de 32 Amp para T3

D3: Llave diferencial de 20 Amp para T4

D4: Llave diferencial de 32 Amp para T5

Fuentes de 24 VDC

En la figura 56 se muestra la fuente de poder para los accionamientos electroneumáticos que corresponde a la fuente de 24 VDC a 3.2 amperios, mientras que la otra fuente será para alimentar el PLC y elementos de señalización.

Se utiliza una fuente individual para el PLC porque en el proceso pueden aparecer señales parasitas o espectros que implican la eficacia del mismo, es por eso una fuente robusta para su alimentación hacia un proceso industrial, está compuesta por filtros que mejorar la señal.

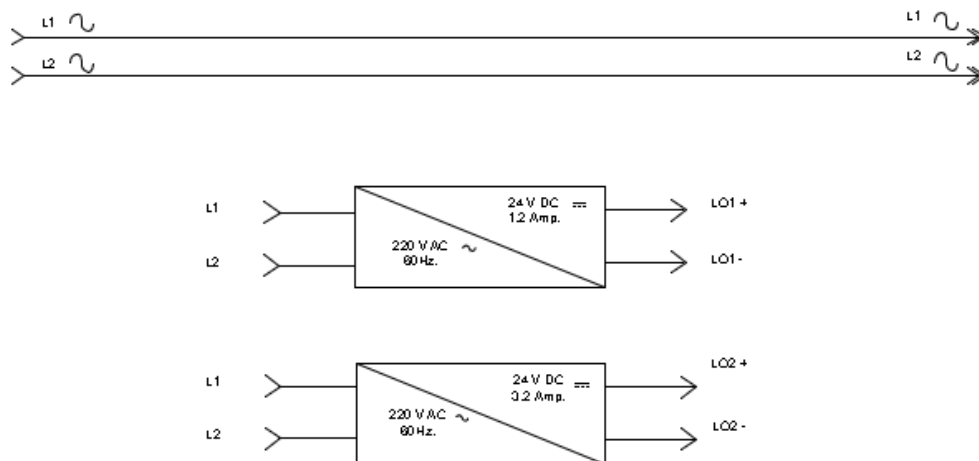


Figura 56. Esquema de fuente de 24 VDC

Fuente: Elaboración propia

Sistema de potencia y cambio de giro del motor

Para el cambio del giro del motor se usará dos contactores de fuerza que serán activados de forma individual el cual nos permite obtener un arranque en forma directa para el avance del carro transportador y a su vez el arranque inverso para el retorno del mismo.

El control determinado para el cambio de giro del motor será entregado por el controlador programable mediante accionamientos de potencia.

En la figura 57 se muestra el circuito de potencia del motor, en donde está compuesto por un contactor (K), elementos de protección como fusibles (F1) y relés térmicos (F2) y la llave trifásica, dicho circuito esta dimensionado a la tensión e intensidad que necesita el motor. Para el circuito de mando que se encarga del funcionamiento del contactor consta de elementos de mando como pulsadores, interruptores, elementos de protección, bobinas de contactores, temporizadores y contactos auxiliares. El circuito está separado eléctricamente del circuito de potencia, es decir, que ambos pueden trabajar a tensiones diferentes, como por ejemplo el de potencia trabaja a 220 VAC y el de mando a 24 VDC.

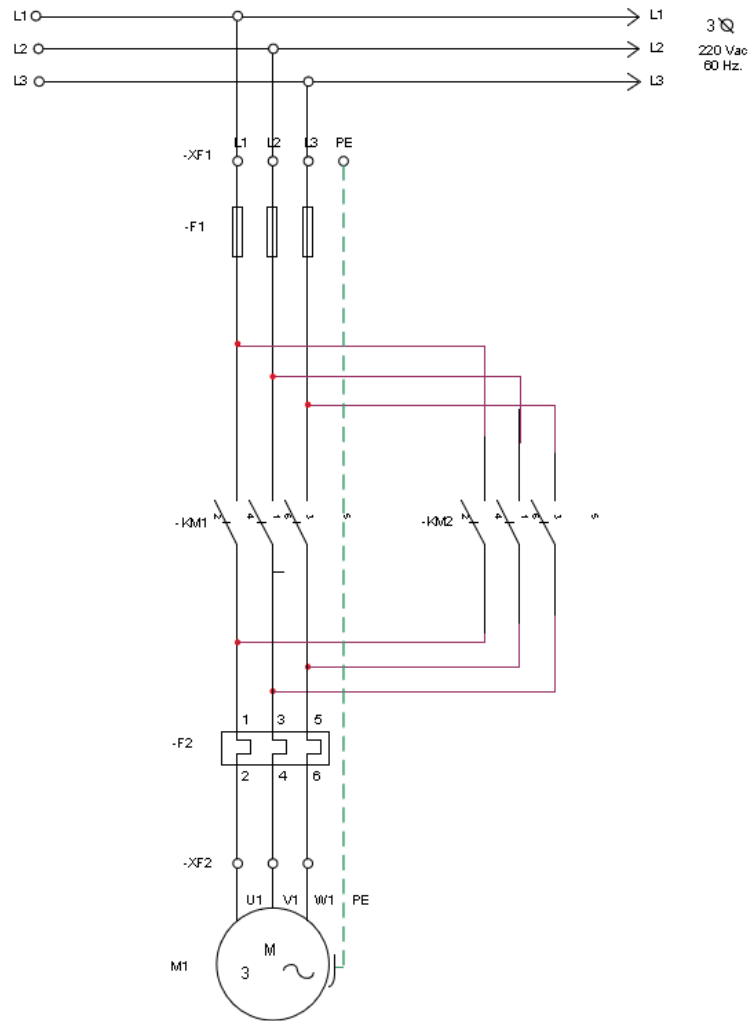


Figura 57. Esquema de fuerza - Cambio de giro del motor

Fuente: Elaboración propia

Consumo de componentes a utilizar

Para calcular el consumo total que necesita el sistema automatizado, se procedió a hacer una tabla donde indica todos los elementos electrónicos y electromecánicos, cada uno con su respectivo consumo en watts y amperaje.

En la tabla 7 se presenta el consumo unitario por cada elemento electrónico y electromecánicos

Tabla 7. Lista de elementos electrónicos y electromecánicos

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CONSUMO (WATTS)	CONSUMO (AMPERIOS)
1	PLC	1	125	1.5
2	Electroválvulas de 8 PSI	2	8.5	0.5
3	Motorreductor de ½ HP a relación de 20 rpm	1	372.85	6
4	Controlador de Temperatura de 210° a 240° Celsius	1	125	2
5	Contactores 3x32	4	20	6
6	Relays 3x15	4	10	6
7	Compresora de 100 PSI	1	745.7	3.2
8	Extractor de gases	1	372.85	2.5
9	Otros	-	250	3
Total			2029.9 watts	30.7 A

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de sección de cable

Éste cálculo se realiza con el fin de reducir perdidas de energía, evitando que esto aumente su temperatura y por ende el sistema funcione en estado óptimo. Con la ayuda de la siguiente ecuación determinaremos la sección del conductor a utilizar:

$$S = \frac{\sqrt{3} * L * I * \cos\varphi}{K * \Delta V}$$

...(11)

Siendo:

S = Sección del conductor, en [mm²]

L = Longitud de la línea, en metros [m]

I = Intensidad de corriente, en Amperios [A]

ΔV = Caída de tensión, en Voltios [V] (5% → 11.5 V)

K = Conductibilidad eléctrica, para el cobre es 56

$\cos\varphi$ = Factor de potencia

Reemplazando los valores obtenemos:

$$S = \frac{\sqrt{3} * 30 * 30.7 * 0.9}{56 * 11.5} = 2.22 \text{ mm}^2$$

...(12)

Según el resultado se necesita un conductor con una sección de 2.22 mm², pero por factor de seguridad doblamos la sección, obteniendo un resultado de 5 mm², en el que es igual al cable AWG 10 para la sección de entrada hasta nuestro sistema automatizado.

3.4 Diseño electrónico

Una vez definido los diseños explicados anteriormente se continúa con el diseño electrónico del sistema automatizado quien ejecuta el control total del mismo. En esta sección se divide en:

1. Elementos seleccionados para el diseño electrónico, en donde se detalla los componentes elegidos para el desarrollo de este.

2. Conexión del PLC con los sensores y actuadores, donde se explica el conexionado para el control automático y manual del sistema.
3. Circuito electroneumático, quien realiza el desplazamiento vertical y el agarre de la matriz de sujeción.
4. Circuito de protección de gas propano.
5. Control de temperatura con termocupla tipo J.

Elementos seleccionados para el diseño electrónico

Para un buen procedimiento del sistema automatizado y efectividad de este se realizó la selección de los siguientes elementos:

Para la selección del PLC enlistamos diferentes marcas y modelos que puedan aportar eficientemente al sistema automatizado en el siguiente cuadro comparativo de la tabla 8.

Tabla 8. Cuadro comparativo de 3 controladores lógicos programables

	SIEMENS S7-1200 CPU 1214C	VISION 120 V120-22-R34	MOELLER EASY 621 DC TC
Entradas analógicas	2	2	2
Entradas Digitales	14	22	12
Salidas	10	12	8
Alimentación	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Módulo de ampliación	SI	NO	SI
Programación en pantalla	NO	SI	SI
Costo	S/. 1300 - 1500	S/ 2800 - 3000	S/. 400 - 600

Fuente: Elaboración propia

Haciendo esta comparación en la tabla anterior concluimos en elegir el siguiente PLC:

PLC Easy 621 DC-TC Moeller, por la cantidad de entradas y salidas necesarias del cual dependemos de nuestras variables a controlar,

además de que su costo es relativamente económico con respecto a otros modelos y entre otros tipos que existe en el mercado y por tener factibilidad en la interacción con el medio externo. En la figura 58 se muestra el PLC adquirido para la implementación del sistema.



Figura 58. PLC Easy 621 DC-TC Moeller

Fuente: Elaboración propia

Controlador de temperatura TCN series

Los controladores de temperatura de la marca Autonics modelo TCN series se caracterizan por su calidad y precisión, se trata de un controlador compacto, con alta velocidad de muestro (100ms) y muchas posibilidades de configuración, todas sus series (TCN4S, TCN4M, TCN4H Y TCN4L) incorporan displays de 4 dígitos de alta visibilidad, con LED de 7 segmentos para indicación de todos los parámetros, además de múltiples alarmas generales y de ruptura.

En la figura 59 se muestra el controlador TC4S adquirido para la implementación del sistema.



Figura 59. Controlador de temperatura TCN4S

Fuente: Elaboración propia

Termocupla tipo J

La termocupla tipo J se usa principalmente en la industria de fundición de metales a bajas temperaturas, trabajando en un rango de -180 a 750 °C. En este caso este termopar se usa con el controlador de temperatura para mantener al estaño en estado líquido en un rango de 210 a 240°C. En la figura 60 se muestra el termopar adquirido para el control de la temperatura.



Figura 60. Termocupla tipo J

Fuente: Elaboración propia

Válvula neumática para gas propano Becker modelo HPP-5

Esta válvula cuando es utilizada con otra válvula de control de pistón de doble acción acepta la señal de instrumentación neumática y posiciona proporcionalmente el actuador de doble-acción. Puede ser utilizado con la serie de actuadores de doble acción para obtener un posicionamiento correcto de la válvula de control, está disponible en acción directa o acción en reversa con una gran variedad de señales de instrumentación y rangos de entrada.

La configuración de un HPP-5 se monta en el actuador Becker RPDA con un equipo NBV-100 para cerrar las fugas cuando la válvula de control está en la posición de todo-cerrado o todo-abierto, más adelante explicaremos con más detalles un circuito de protección que se implementó

Conexión del PLC con los sensores y actuadores

Para la realización del proyecto automatizado se requieren variables de accionamiento que determinan la cantidad de movimientos que realiza el proceso como lo son la puesta en marcha del motor, activación de electroválvulas de los cilindros neumáticos, sensores fines de carrera, sincronismo del programador con el medio externo que determina la ejecución de cada uno de ellos, la temperatura máxima y mínima que quiere el estañado para un mejor acabado en la superficie de las placas a trabajar, etc. En la figura 61 se muestra un esquema general del conexionado del PLC junto con su módulo de ampliación.

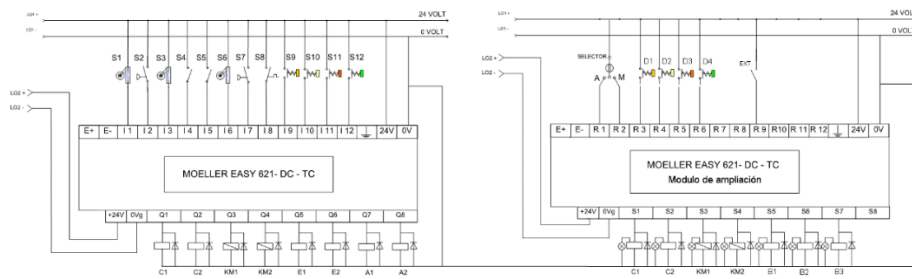


Figura 61. Esquema general del PLC junto al módulo de ampliación

Fuente: Elaboración propia

Conexión para el control automático del proceso

Para el sistema automatizado se usó diversos tipos de sensores de los cuales permitirán realizar actividades de posicionamiento del material y de los equipos de control.

A continuación, en la tabla 9 mostramos la lista de los sensores que se usan como método de entrada.

Tabla 9. Lista de sensores para el control automatizado

SENSOR	SÍMBOLO	ENTRADA PLC	DESCRIPCIÓN
Sensor 1	S1	I1	Sensor posición inicial del carro transportador
Sensor 2	S2	I2	Sensor de presencia de material
Sensor 3	S3	I3	Sensor de punto medio entre la bandeja y los accionamientos
Sensor 4	S4	I4	Sensor magnético de entrada del cilindro C1
Sensor 5	S5	I5	Sensor magnético de salida del cilindro C1
Sensor 6	S6	I6	Sensor posición final del carro transportador
Sensor 7	S7	I7	Sensor de presencia de material en depósito
Sensor 8	S8	I8	Sensor de temperatura tipo J
Sensor 9	S9	I9	Pulsador para puesta en marcha del módulo recubridor
Sensor 10	S10	I10	Pulsador verificación de descarga
Sensor 11	S11	I11	Pulsador de apagado general
Sensor 12	S12	I12	Pulsador de arranque del proceso

Fuente: Elaboración propia

El sensor 1 corresponde a la posición inicial del proceso, aquí el carro transportador indica que está listo para empezar con el proceso. Es de tipo final de carrera con rueda.

El sensor 2 determina si existe material listo para estañar en el módulo de base fija, de no existir material, el proceso no se inicia. Es de tipo piezoeléctrico.

El sensor 3 que es de posición central hacia la bandeja de estañado relaciona los niveles de temperatura óptimos para el proceso de

accionamientos de los cilindros neumáticos para el recubrimiento de las placas. El de tipo final de carrera con rueda.

El sensor 4 y 5 indica la posición inicial y final del cilindro de doble efecto respectivamente para el desplazamiento vertical de la matriz de sujeción. Es de tipo magnético.

El sensor 6 corresponde a la posición final del proceso, aquí el carro transportador indica que está listo para dejarlo en el depósito. Es de tipo final de carrera con rueda.

El sensor 7 determina que existe presencia de material estañado en el módulo de base fija. Es de tipo piezoeléctrico.

El sensor 8 nos permite tener una referencia de la temperatura del material aporte en los niveles deseados para un recubrimiento óptimo. Es un controlador de temperatura utilizando la termocupla tipo J, más adelante se explica con más detalles el control de la temperatura.

El sensor 9 indica la puesta en marcha del proceso. Es de tipo pulsador tipo industrial.

El sensor 10 indica que no hay presencia de material estañado en el módulo final de base fija. Es de tipo pulsador.

El sensor 11 indica el apagado general del sistema. Para este sensor es un tipo de pulsador especial para paradas de emergencia.

El sensor 12 indica el arranque del proceso, sin la activación de este sensor no inicia el proceso automatizado de recubrimiento. Es de tipo pulsador.

En la figura 62 se muestra el esquema de las entradas de los sensores al PLC.

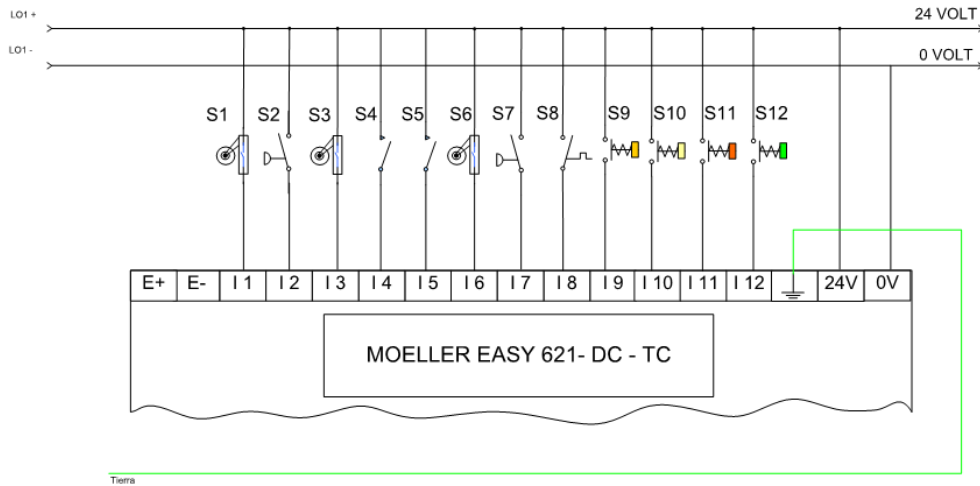


Figura 62. Circuito de entradas de sensores al PLC para el control automatizado

Fuente: Elaboración propia

Para el conexas de las salidas se usará diversos tipos de accionamientos de los cuales permitirá el desplazamiento del sistema automatizado y calentamiento del estaño hasta su punto de fusión y mantenerlo en ese estado.

A continuación, en la tabla 10 mostramos la lista de los accionamientos que se usan como método de salida.

Tabla 10. Lista de elementos de accionamientos para control automatizado

SÍMBOLO	SALIDA PLC	VARIABLES CONTROLADAS
C1	Q1	Electroválvula 4/2
C2	Q2	Electroválvula 3/2
KM1	Q3	Contactador KM1
KM2	Q4	Contactador KM2
E1	Q5	Válvula solenoide 1
E2	Q6	Válvula solenoide 2
A1	Q7	Alarma 1
A2	Q8	Alarma 2

Fuente: Elaboración propia

- a) La electroválvula C1 controla el cilindro de doble efecto para el desplazamiento vertical de la matriz de sujeción.
- b) La electroválvula C2 controla a ambos cilindros de simple efecto para el agarre de la matriz de sujeción.
- c) Los contactores KM1 y KM2 controlan al motor para su avance y retroceso.
- d) Las válvulas solenoides E1 y E2 controlan el paso del gas hacia los quemadores.
- e) Las alarmas A1 y A2 son indicadores sonoros para la posición inicial y final del carro transportador respectivamente.

En la figura 63 se muestra el esquema de las salidas del PLC hacia los accionamientos.

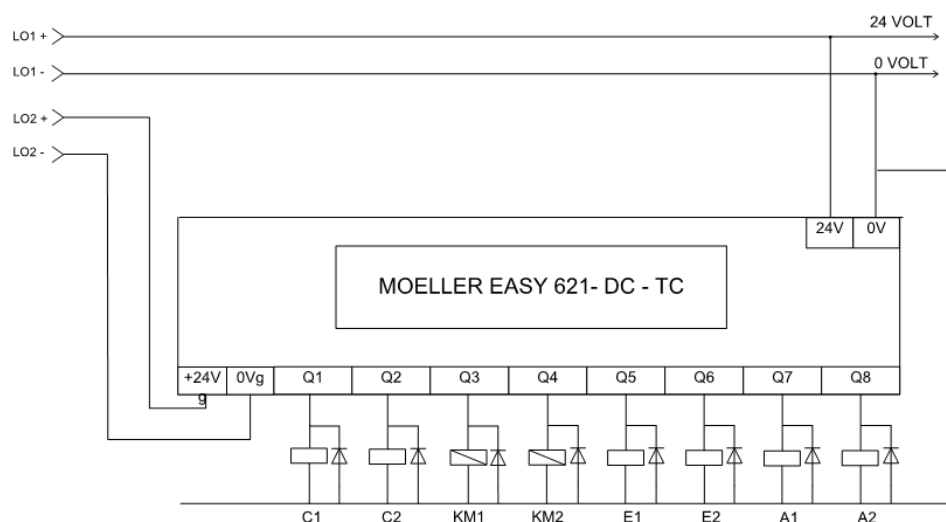


Figura 63. Circuito de salidas del PLC para el control automatizado

Fuente: Elaboración propia

Conexión para control manual del proceso

Dentro de sistema de conexión del PLC existe una ampliación modular-auxiliar para el control manual del proceso de recubrimiento, esta conexión solo sirve para el desplazamiento horizontal y vertical de la matriz de sujeción, mas no para su recubrimiento. Este conexas se

considera como factor de seguridad del proceso en caso de que se presentes fallos en el sistema automatizado.

A continuación, en la tabla 11 mostramos la lista de los sensores que se usan como método de entrada para el control manual de proceso.

Tabla 11. Lista de sensores para el control manual

SENSOR	SÍMBOLO	ENTRADA PLC	DESCRIPCIÓN
Sensor 13	A	R1	Selector automático- manual
	M	R2	
Sensor 14	D1	R3	Sensor ON/OFF cilindro doble efecto
Sensor 15	D2	R4	Sensor ON para cilindros de simple efecto
Sensor 16	D3	R5	Contactador KM1
Sensor 17	D4	R6	Contactador KM2
Sensor 18	EXT	R9	Sensor de pulsadores manuales

Fuente: Elaboración propia

- a) El sensor 13 corresponde a un cambio de estado entre automático o manual. Es de tipo selector estado I-O-II.
- b) El sensor 14 determina el accionamiento del cilindro neumático de doble efecto. Es de tipo pulsador normalmente abierto, en esta posición el vástago se mantiene retraído, al accionarse el pulsador activa la electroválvula para la expansión del vástago, al volver a su posición inicial el vástago vuelve a retraerse.

- c) El sensor 15 determina el accionamiento de los cilindros neumáticos de simple efecto. Es de tipo pulsador normalmente cerrado, al accionarse el pulsador desactiva la electroválvula para la retracción del vástago y por consiguiente el agarre de la matriz de sujeción.
- d) El sensor 16 y 17 activa el motorreductor del carro transportador para su desplazamiento horizontal hacia la salida del material.
- e) El sensor 18 permite al sistema activar la condición de modo manual, anulando cualquier actividad que se presente en el modo automático como método de seguridad. Es de tipo interruptor.

En la figura 64 se muestra el esquema de las entradas de los sensores para el control manual al PLC.

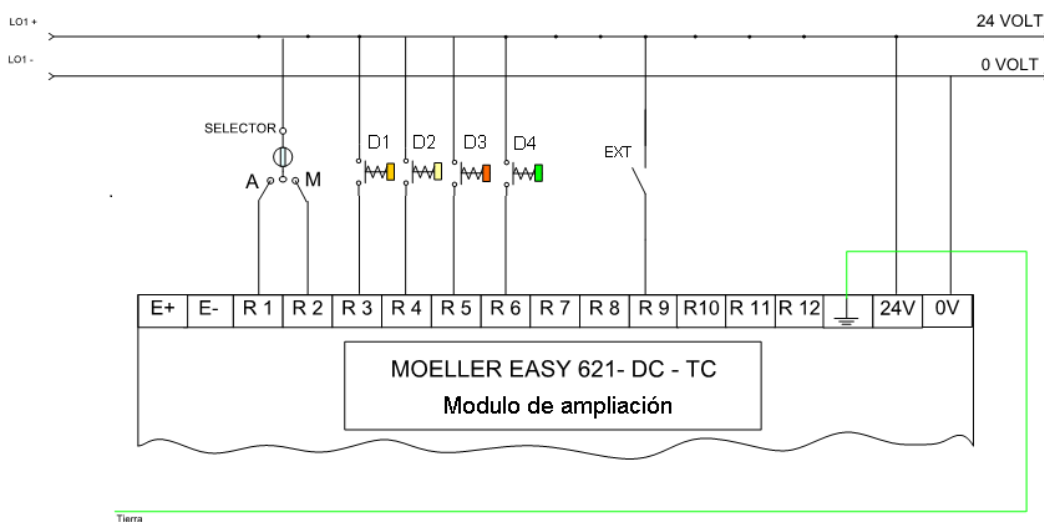


Figura 64. Circuito de entradas del módulo de ampliación para el control manual
Fuente: Elaboración propia

El conexionado de las salidas para el proceso manual en el módulo de ampliación son indicadores lámparas de los accionamientos que son necesarios activar sólo para el desplazamiento vertical y horizontal del sistema.

A continuación, en la tabla 12 mostramos la lista de indicadores lámparas del módulo de ampliación del PLC.

Tabla 12. Lista de elementos de indicadores lámparas para control manual

SÍMBOLO	SALIDA PLC	VARIABLES CONTROLADAS
C1	S1	Indicador lámpara electroválvula 4/2
C2	S2	Indicador lámpara electroválvula 3/2
KM1	S3	Indicador lámpara contactor KM1
KM2	S4	Indicador lámpara contactor KM2
B1	S5	Indicador lámpara proceso automático
B2	S6	Indicador lámpara proceso manual
B3	S7	Indicador lámpara proceso manual externo

Fuente: Elaboración propia

- a. Lámpara C1 indica la activación de la electroválvula 4/2 por el accionamiento del sensor 14 o D1.
- b. Lámpara C2 indica la activación de la electroválvula 3/2 por el accionamiento del sensor 15 o D2.
- c. Lámpara KM1 indica la activación del contactor KM1 por el accionamiento del sensor 16 o D3.
- d. Lámpara KM2 indica la activación del contactor KM2 por el accionamiento del sensor 17 o D4.
- e. Lámpara B1 y B2 indica la activación del selector automático-manual respectivamente por el accionamiento del sensor 13.
- f. Lámpara B3 indica la activación del sensor de pulsadores manuales por el accionamiento del sensor 18 o EXT. Este sensor como se explicó anteriormente es por razones de seguridad.

En la figura 65 se muestra el esquema de las entradas de los sensores para el control manual al PLC.

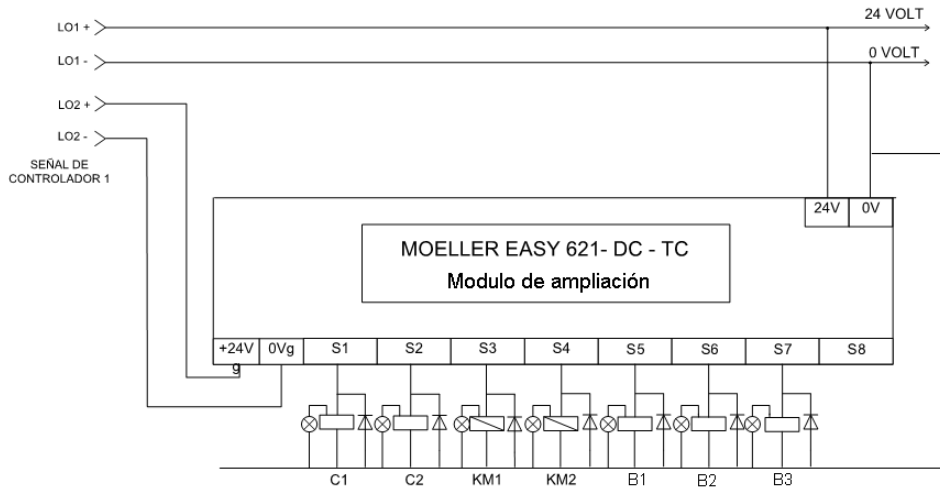


Figura 65. Circuito de salidas del módulo de ampliación para el control manual

Fuente: Elaboración propia

Circuito electroneumático

La etapa de accionamientos es determinada por el circuito neumático que, activados por el PLC mediante las referencias y el mando, hacen que a la salida del PLC tanto para Q1 (electroválvula C1) y Q2 (electroválvula C2) se accionen. La figura 66 muestra el diagrama de espacio-fase del circuito electroneumático.

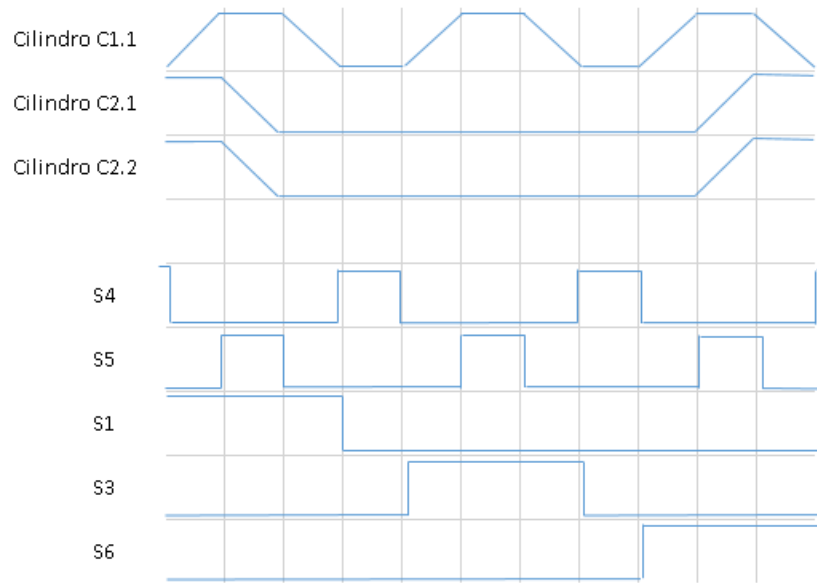


Figura 66. Diagrama de Espacio-Fase del circuito electropneumático

Fuente: Elaboración propia

Para este proceso cíclico la electroválvula C2 empieza activa, luego se activa S1 (posición inicial del carro) quien a su vez activa la electroválvula C1 para el descenso vertical, al terminar de descender activa S5 (posición final de C1.1) y este desactiva la electroválvula C2 retrayendo los cilindros C2.1 y C2.2 para el agarre de la matriz de sujeción, luego desactiva C1 ascendiendo verticalmente para luego volver a activar S4 (posición inicial de C1.1) y este al contactor para el avance del carro hasta activar S3 (posición central del carro), quien activa nuevamente C1 para sumergir a las placas. La activación de S6 (posición final del carro) activa por última vez C1 para la descarga del material estañado, activando S5 y éste a C2, volviendo al inicio del proceso.

En la figura 67 se muestra el circuito electropneumático con la simbología dada anteriormente para las entradas y salidas del PLC.

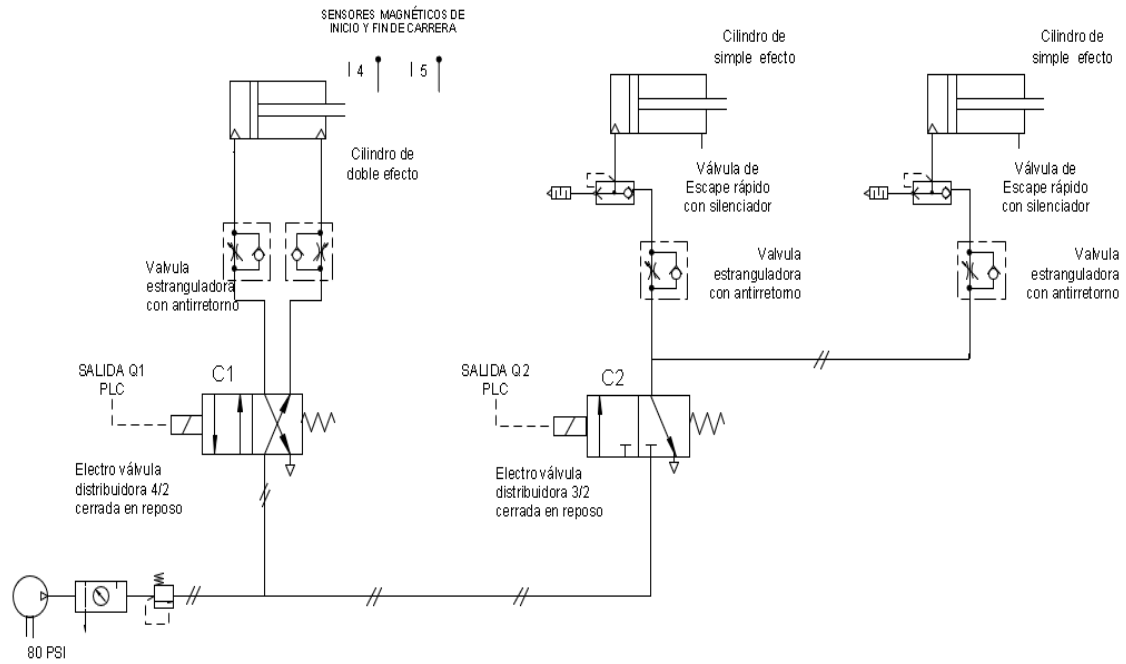


Figura 67. Esquema de sistema electroneumático

Fuente: Elaboración propia

Circuito de protección para el flujo del gas propano

Todo solenoide genera un campo eléctrico que es capaz de causar tragedia como el encendido indebido de llamas por calentamiento del núcleo interno de la bobina de una simple electroválvula, es por ello que se implementó (como factor de seguridad primordialmente para el personal de obra así como para la misma planta que realiza el proceso) una electroválvula neumática (aire) que active a la válvula de accionamiento neumático (gas) internamente visto en la siguiente figura 68, como un pistón de doble accionamiento que abre y cierra la válvula para el paso de gas propano.

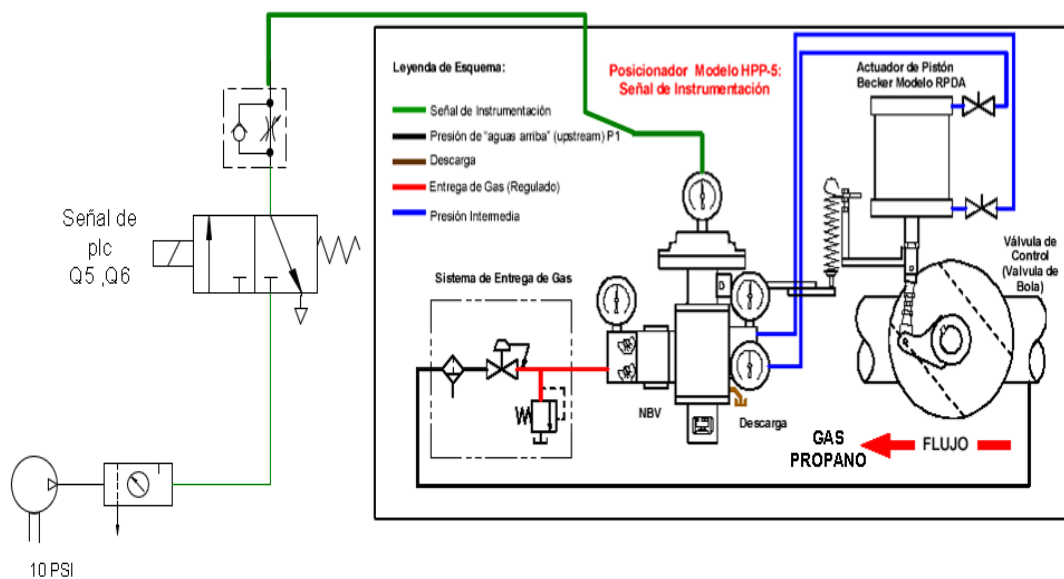


Figura 68. Esquema electroneumático para el sistema de gas (válvula solenoide)

Fuente: Elaboración propia

Control de temperatura con termocupla tipo J

La secuencia de temperatura es por medio del controlador de temperatura J, para ello se tiene a programar al controlador TCN4S con una histéresis desde 210 hasta 240 grados Celsius debido a que en esta temperatura el estaño se encuentra en estado líquido, admisible para el recubrimiento de materiales, ahora bien esto en conjunto con el PLC crea la automatización para el proceso de temperatura.

Para el margen de temperatura brindada en el párrafo anterior digitalizamos la señal entre los valores de 215 °C como mínimo y 235 °C como máximo por motivos de traslación de energía acumulativa dentro de la bandeja de estaño. El PLC tendrá la referencia en I8 para poder secuenciar las salidas Q5 y Q6 hacia las válvulas solenoides mostrando una secuencia como se muestra a continuación en la figura 69.

de estaño en placas de cobre. En la figura 70 se muestra el esquema del diagrama de flujo.

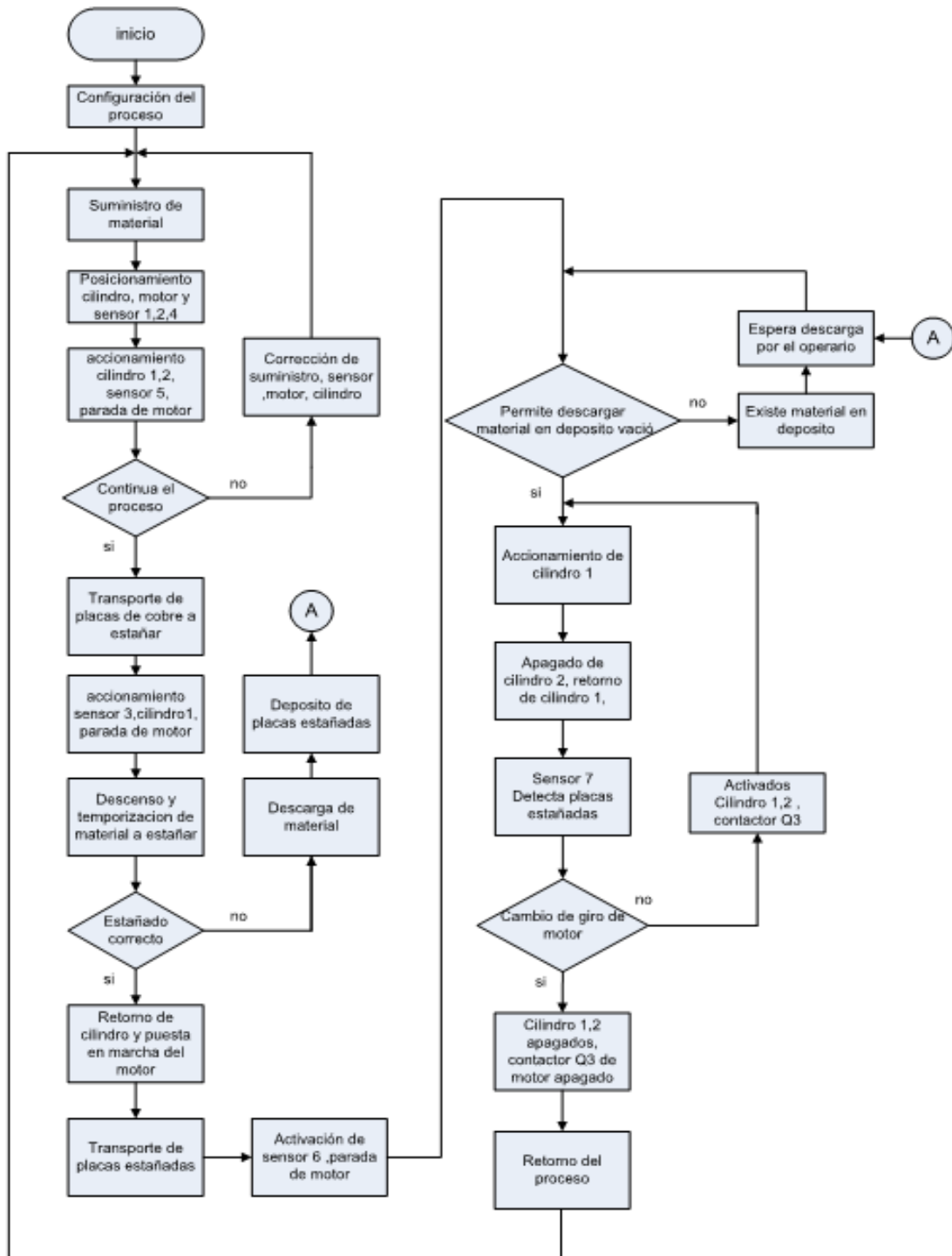


Figura 70. Diagrama de flujo del control de proceso automatizado

Fuente: Elaboración propia

Bajo este diagrama se entiende ahora que pasos a realizar deben ser determinados en la creación del programa y la interacción entre el programador con el medio externo para el proceso de estañado, es por ello que se emplea este esquema para mostrar las tareas que se necesitara para los movimientos y secuencias de accionamientos de estos equipos.

Diseño de la programación

Para realizar el diseño se siguió la siguiente secuencia de forma resumida frente al diagrama de flujo: La programación ejecuta el movimiento del material desde el suministro de placas (debidamente decapadas) hacia el transporte del mismo, hasta llegar a un punto en donde se encuentra la bandeja de estaño, luego de terminado el estañado, las placas son transportadas a otro punto el cual se da la descarga de material respectivamente estañados. Para este proceso utilizaremos el lenguaje de programación Ladder o Escalera con el software del PLC EasySoft mostrado en la figura 71.

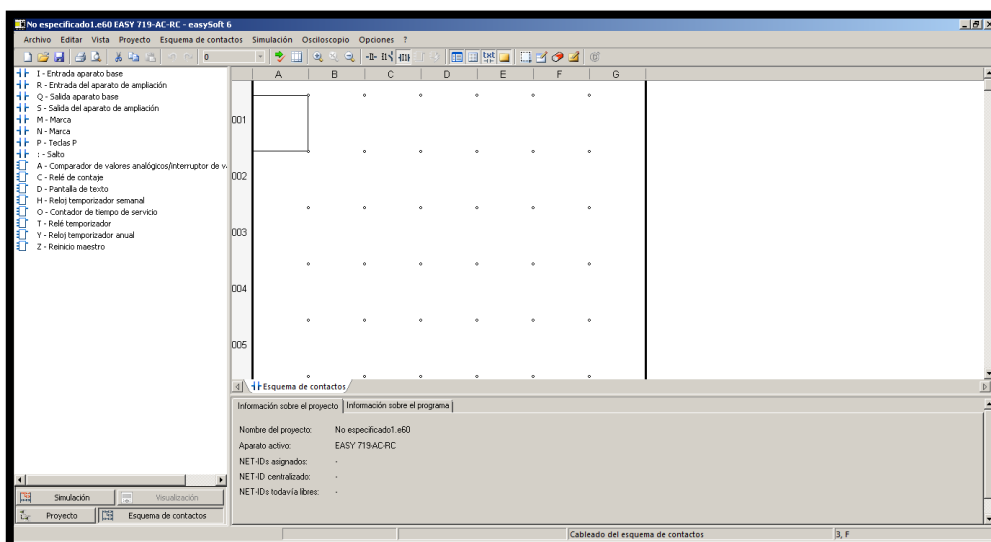


Figura 71. Programa EasySoft Pro 6

Fuente: Elaboración propia

Lenguaje de programación gráfico Ladder

El código completo de la programación Ladder realizado para el PLC y que, por ende, automatiza el sistema se encuentra en los anexos, pero en esta sección explicaremos detalladamente el proceso de la automatización del recubrimiento.

El inicio del proceso automatizado es mediante la activación del pulsador S12, quien habilita al programador a realizar las tareas programadas y secuencias respectivas de los movimientos a controlar y los accionamientos respectivos para el proceso.

El paso anterior para el ingreso del material es tener las piezas debidamente acondicionadas tales como su limpieza, pulido y decapado, colocadas en la matriz de sujeción para así ser colocados en la plataforma inicial en donde se encuentra el sensor de presencia S2 que es parte de una señal referencial que detecta la presencia de material. En la figura 72 se muestra la programación del inicio del proceso automatizado.

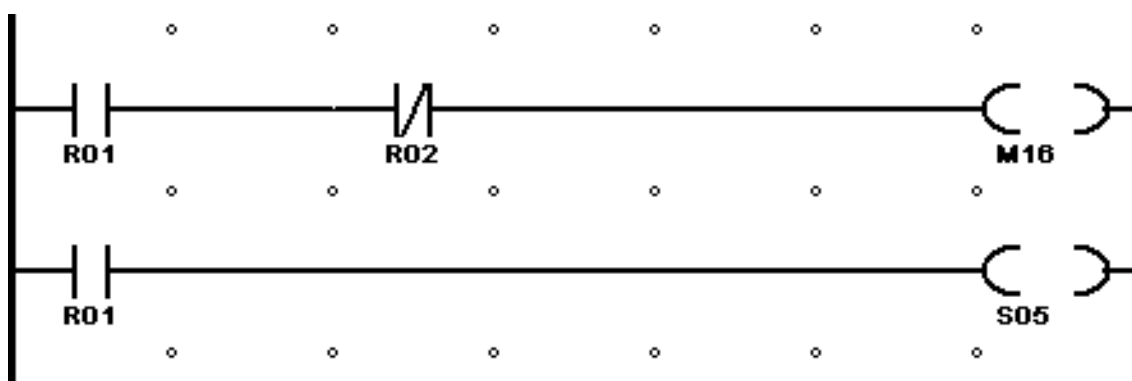


Figura 72. Programación para inicio de proceso automatizado

Fuente: Elaboración propia

El programador para poder proseguir la rutina debe tener otra referencia la cual es mediante la posición del motorreductor en su posición inicial, accionando S1, permitiendo al programador tener dos referencias, las cuales activaran a una alarma indicando al operario poner en marcha la etapa de accionamientos móviles, mediante el pulsador S9 el operario al tener conocimiento que todo está en su debido lugar tanto el motorreductor así como las placas de cobre da inicio

a la etapa de accionamientos que es determinado por el circuito electroneumático (explicado con más detalles en el diseño electrónico)

El tiempo del sumergido del material al momento que este esté en su posición central es de un minuto, por las características del material y bajo condiciones de temperatura. En la figura 73 se muestra la programación de la detección de la zona central y tiempo de sumergido de la matriz.

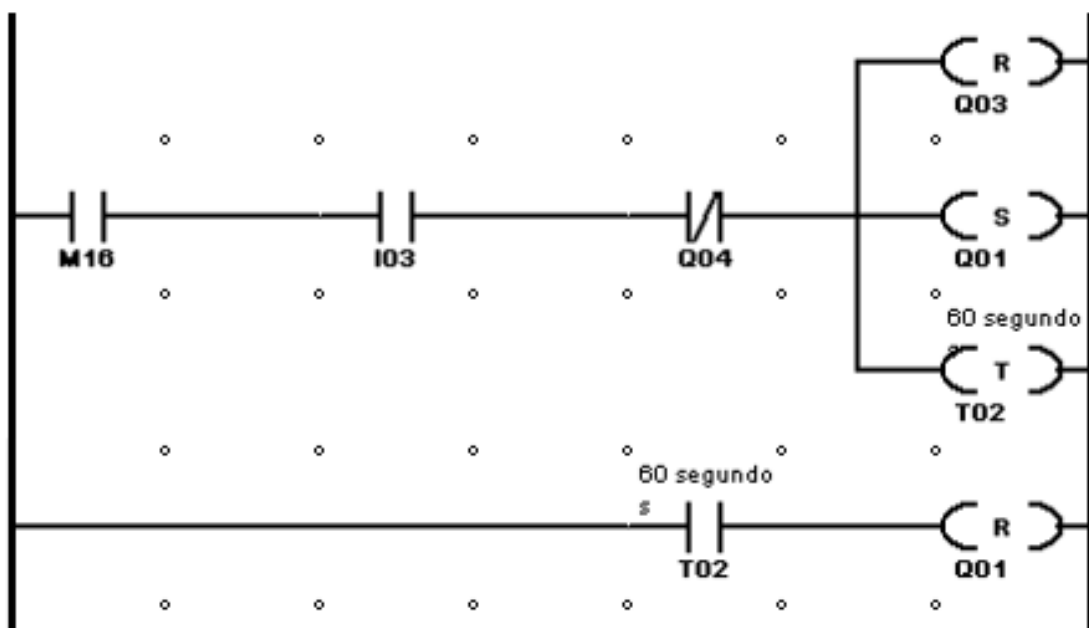


Figura 73. Programación para detección central y tiempo de sumergido

Fuente: Elaboración propia

Luego de la descarga, llevado todo el proceso de estañado, como se dijo en inicio el sensor magnético S4 vuelve a ser activado originando a la salida la activación de Q4 quien es el contactor K2 que se energiza y hace el cambio del giro del motorreductor, retornando al inicio del carril hasta el tope donde se activa S1 donde este desactiva K2, originando el apagado del motorreductor para que luego automáticamente se realice un proceso cíclico. En la figura 74 se muestra la programación de la descarga del material estañado.

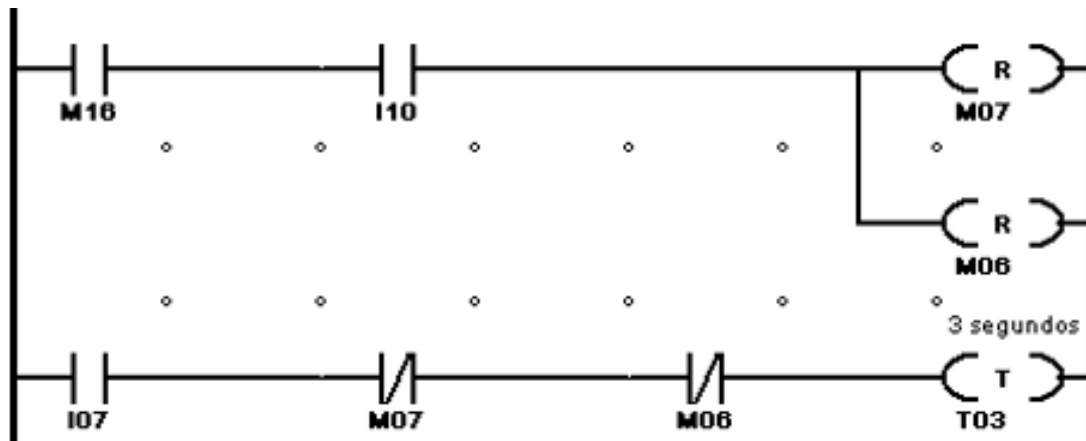


Figura 74. Programación para descarga de material estañado

Fuente: Elaboración propia

3.6 Implementación del sistema automatizado

En esta sección se muestra la implementación del prototipo del sistema automatizado, comenzando con la construcción de las estructuras mecánicas, instalación eléctrica y electrónica, detallando en cada sección los métodos de implementación que se ha realizado, indicando que suministros y/o herramientas se usaron.

Instalaciones mecánicas

Para la construcción de la estructura se realizó a una escala de 1:5 frente al diseño que se mostró anteriormente, tomando en cuenta cada detalle de las partes del mismo. En la figura 75 se muestra el proceso de soldadura con proceso TIG del carril de transporte al cuadrante de la estructura.



Figura 75. Soldadura del carril de transporte con proceso TIG

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de las bases fijas y la bandeja de recubrimiento de estaño se tuvo que realizar a una escala similar al anterior el cual nos permita colocar a una distancia adecuada para el proceso. En la figura 76 se muestra la soldadura de los parantes a las bases fijas y la bandeja de recubrimiento.



Figura 76. Soldadura de módulo de base fija y bandeja de recubrimiento

Fuente: Elaboración propia

Para la carga y descarga de la placa de cobre se realizó la construcción de la matriz de sujeción el cual nos permitirá sumergir en el estaño a una temperatura mayor de 200 °C, el material es de acero inoxidable 326 L donde lo podemos apreciar en la siguiente figura 77.

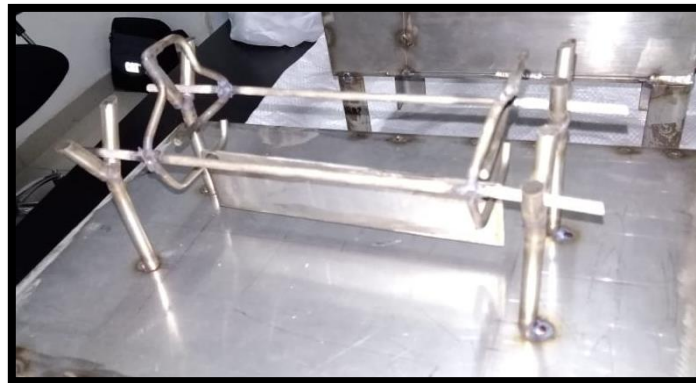


Figura 77. Matriz de sujeción sobre el módulo de base fija

Fuente: Elaboración propia

Para la construcción del carro transportador de igual manera se tomó en cuenta el diseño anterior del mismo, respetando las medidas para la precisión mecánica del sistema como el alto de la bandeja y el recorrido del cilindro de doble efecto para la carga, traslado hacia al recubrimiento y descarga de la matriz de sujeción. En la figura 78 se muestra la soldadura con proceso TIG de la cartela al carro transportador y el ensamblaje de los cilindros neumáticos.



Figura 78. Soldadura de la cartela y ensamblaje de los cilindros neumáticos

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, la parte mecánica resulto ser accesible por el material suministrado por la empresa, la calidad es de acero inoxidable 316 L, por ser un material más limpio y permite que el material recubridor (que es el estaño) no se contamine por algún agente oxidante, en la figura 79 se muestra la estructura mecánica, la bandeja de recubrimiento y las bases fijas.



Figura 79. Prototipo de la estructura, bandeja y módulo de bases fijas

Fuente: Elaboración propia

Instalación eléctrica

Para la instalación eléctrica del prototipo se tomó en cuenta inicialmente el tablero, en donde la energía suministrada por la red de 220 VAC se distribuirá para el extractor de gases, PLC y la fuente de 24 VDC, y éste último hacia los accionamientos electroneumáticos, así como indicadores luminosos. En la figura 80 se muestra el tablero de distribución.



Figura 80. Tablero general eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Debido a que esta implementación es realizada de manera escalada, se considera el reemplazo del motor trifásico por motores de corriente directa para el carro transportador, por esta misma razón será alimentado también por la fuente de 24 VDC.

Instalaciones electrónicas

Para el funcionamiento del prototipo se tuvo que ejecutar la conexión de los equipos electroneumáticos con señal de alimentación en 24 VDC, así como el elemento de control de temperatura, y evaluar las escalas de transmisión de datos de la termocupla hacia el controlador.

La primera etapa del funcionamiento es el controlador lógico programable quien determina los tiempos y secuencias de trabajo hacia el proceso industrial. En la figura 81 se muestra el PLC instalado en el prototipo junto con módulos relés industriales para electroválvulas y controlador de temperatura.

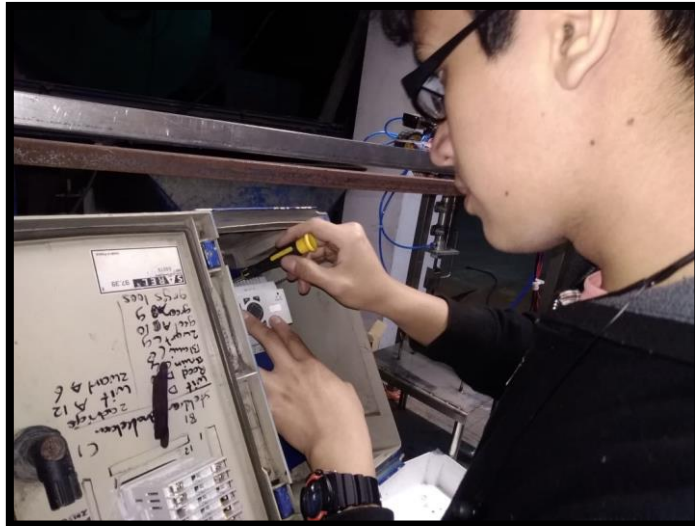


Figura 81. Instalación del PLC al prototipo

Fuente: Elaboración propia

Para el control de temperatura escogido se procedió a usar el controlador explicado anteriormente (TCN4S) junto con la termocupla tipo J, el controlador arroja una señal entre los valores de 4 mA a 20mA, que son extraídos de ahí y llevados al PLC. A medida que la temperatura va en aumento el sensor es capaz de dar una variación de histéresis que origina el accionamiento del controlador y el encendido u apagada de las válvulas respectivamente hacia los quemadores industriales. En la figura 82 se muestra el controlador de temperatura instalado al prototipo mostrando la temperatura de ambiente



Figura 82. Instalación del TCN4S al prototipo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 83 se muestra el sistema automatizado instalado en su totalidad, pudiéndose observar un tablero especial donde se aloja el PLC y el controlador de temperatura, además de la compresora para la alimentación neumática.

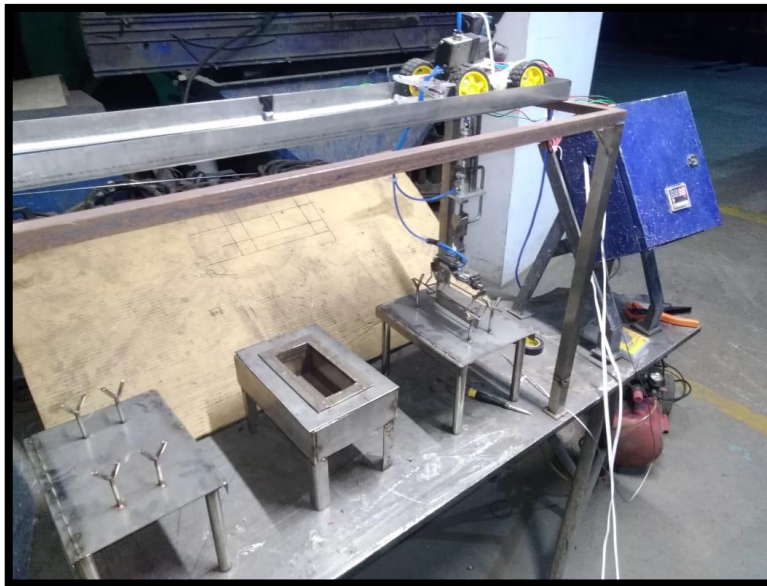


Figura 83. Prototipo del sistema automatizado

Fuente: Elaboración propia

Para el funcionamiento del prototipo y ya tomando en cuenta estas instalaciones junto con el diseño informático o programación del controlador principal que es el PLC, pasamos al siguiente capítulo 4 para realizar las pruebas y resultados para demostrar la efectividad del sistema.

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo corresponde a las pruebas y resultados en base a nuestro proceso implementado. Las pruebas planteadas y observadas mostraron la performance en el diseño realizado y sobre todo sirvió como referencia en cuanto al cumplimiento de los objetivos propuestos.

4.1 Pruebas

Para demostrar la efectividad del sistema automatizado lo sometimos a diversas pruebas que con la ayuda del diseño del proceso automatizado y la implementación del prototipo observaremos el funcionamiento eficaz del mismo. A continuación, vamos a describir las tareas planteadas.

Prueba 1

Consiste en accionar el carro transportador para su avance y retroceso, probando sus paradas al inicio, medio y final en el carril de transporte mediante los sensores posicionados correctamente en la estructura. Esta prueba es para averiguar si el carro llega a detenerse precisamente sobre la bandeja de estañado y módulo de bases fijas.

Prueba 2

Consiste en accionar el circuito electroneumático para el desplazamiento vertical y agarre de la matriz de sujeción. Lo que se trata de conseguir es que este circuito realice esta prueba con precisión ya que es importante trasladar la matriz correctamente.

Prueba 3

Consiste en someter a la termocupla tipo J a temperaturas elevadas. Esta prueba es para conseguir que el estaño se mantenga en estado líquido por el accionamiento de los quemadores controlados por el PLC, teniendo

como entrada al controlador de temperatura manteniendo la histéresis de 210°C a 240°C.

Prueba 4

Consiste en sumergir una placa de cobre en la bandeja de recubrimiento. Lo que se busca de este proceso es comprobar que el sistema sumerge a la matriz por completo y comprobar si vuelve a presentarse los problemas comunes que teníamos anteriormente al estañar placas de cobre de manera rústica.

4.2 Resultados

A continuación, presentamos los resultados de cada prueba con su respectiva explicación:

Resultado de la prueba 1

En la prueba número 1 se asignó accionar al carro transportador para su avance y retroceso, comprobando sus paradas al inicio, medio y final en el carril de transporte. Dicho experimento intenta darnos a saber si el carro llega a detenerse precisamente sobre la bandeja de estañado y módulo de bases fijas.

En la figura 84 se puede observar la posición inicial del carro transportador, para ello al accionar el botón de inicio del sistema automatizado y comprobando que el carro accione el sensor de posición inicial (final de carrera) este activado comprueba que ya está listo para recoger la matriz de sujeción.



Figura 84. Posición inicial del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

En la figura 85 se puede observar la posición central del carro transportador, para ello al desplazarse horizontalmente y cargando a la matriz de sujeción hasta el sensor central (final de carrera) se detiene, comprobando que ya está listo para sumergir a las placas para el baño de recubrimiento.



Figura 85. Posición central del carro transportador

Fuente: Elaboración propia

En la figura 86 se puede observar la posición final del carro transportador por consecuencia de haber culminado de recubrir las placas de cobre y su respectivo traslado al sensor de posición final (final de carrera) en donde se detiene, confirmando que ya está listo para descargar la matriz de sujeción con las placas ya estañadas.

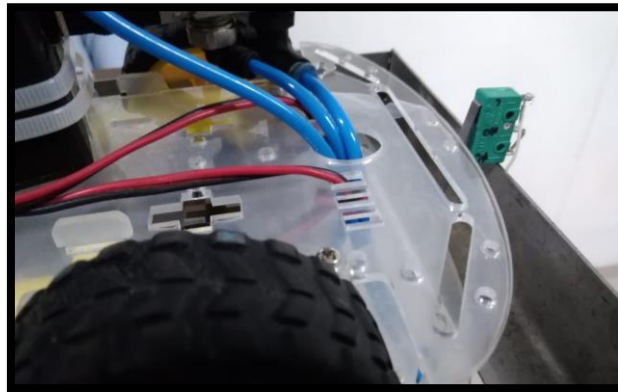


Figura 86. Posición final del carro transportador accionando sensor final

Fuente: Elaboración propia

Resultado de la prueba 2

En la prueba número 2 se asignó accionar el circuito electroneumático para el desplazamiento vertical y agarre de la matriz de sujeción. Dicho experimento nos dará a saber si la matriz se traslada correctamente y con precisión.

En la figura 87 se muestra cómo se desplazó verticalmente el cilindro C1 y el accionamiento de los cilindros C2 sosteniendo la matriz de sujeción. Para ello haremos la prueba de trasladar la matriz directamente hacia la posición final, es decir al módulo de base fija para la descarga del material.



Figura 87. Sujeción de la matriz en su posición inicial
Fuente: Elaboración propia

En la figura 88 se muestra el traslado correcto de la matriz ya llegando al módulo de base fija final para su respectiva descarga, es importante detallar que estos módulos se encuentran en una posición especial, garantizando la carga, traslado y descarga correcta de la matriz de sujeción.



Figura 88. Matriz de sujeción llegando a módulo de base final
Fuente: Elaboración propia

Resultado de la prueba 3

En la prueba número 3 se asignó someter a la termocupla tipo J a temperaturas elevadas. Dicha prueba nos dará a saber si el controlador mantiene la histéresis de 210 a 240°C.

En la figura 89 se muestra la termocupla tipo J conectada al controlador de temperatura TCN4S, revelando a que temperatura se está sometiendo a la termocupla que en este caso es de 135 °C, el quemador es representado por un indicador luminoso.



Figura 89. Controlador marcando la temperatura de 135 °C

Fuente: Elaboración propia

En la figura 90 se muestra la termocupla tipo J llegando a la temperatura de 240°C grados, en donde el controlador automáticamente deja de enviar la señal a la entrada I8 del PLC, haciendo que el quemador se apague. Una vez que el termopar se enfríe y marque nuevamente 210°C, el controlador envía nuevamente la señal al PLC para accionar al quemador.

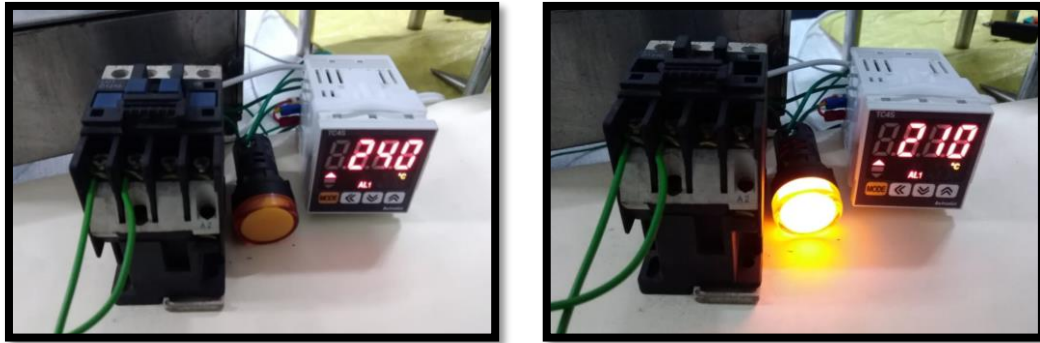


Figura 90. Controlador comprobando la histéresis requerida

Fuente: Elaboración propia

Resultado de la prueba 4

En la prueba número 4 se asignó sumergir una placa de cobre en la bandeja de recubrimiento. Dicho experimento nos dará a saber si las placas llegan a sumergirse en su totalidad en la bandeja recubridora de estaño.

En la figura 91 se muestra a la matriz de sujeción en la posición central sobre la bandeja recubridora de estaño, lista para sumergirse en ella. Es importante detallar que la bandeja recubridora se encuentra en una posición especial para que la matriz no colisione con los alrededores de la bandeja, provocando que no se sumerja en su totalidad.

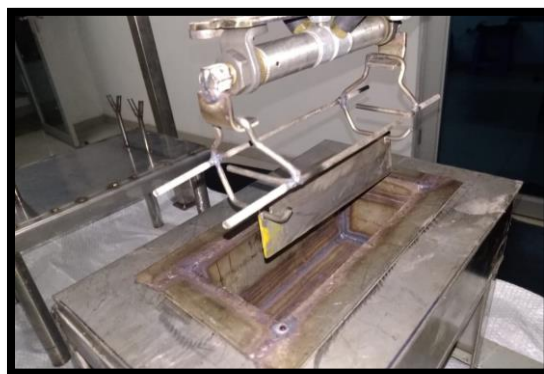


Figura 91. Matriz de sujeción lista para sumergirse en la bandeja

Fuente: Elaboración propia

En la figura 92 se muestra la matriz de sujeción ya sumergida completamente en la bandeja recubridora de estaño, en el mismo se observa como la placa entra por completo a la bandeja, indicando que se recubre en su totalidad sin problemas.



Figura 92. Matriz de sujeción sumergida en la bandeja
Fuente: Elaboración propia

4.3 Confirmación de la eficacia

Para la confirmación de la eficacia se tomaron muestras obtenidas por la empresa en donde arrojaban productos defectuosos. Aplicando el método de Pareto (ver figura 93), se muestra un antes y después del proceso de recubrimiento cuando se implanta la mejora de automatizado y omitiendo todo tipo trabajo por otra empresa (ver tabla 13).

Tabla 13. Registros del octubre 2017 al enero 2018 sin el proyecto

ÍTEM	PROBLEMA	PRODUCTOS DEFECTUOSOS	PORCENTAJE (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)
1	Placas quebradas	145	36.34	36.34
2	Deformación por calor	98	24.56	60.90
3	Recubrimiento bajo	67	16.79	77.69
4	Placas de mal acabado	39	9.77	87.47
5	Perdidas de estaño	29	7.27	94.74
6	Perdidas de solvente	21	5.26	100
	TOTAL	399	100	

Fuente: Elaboración propia

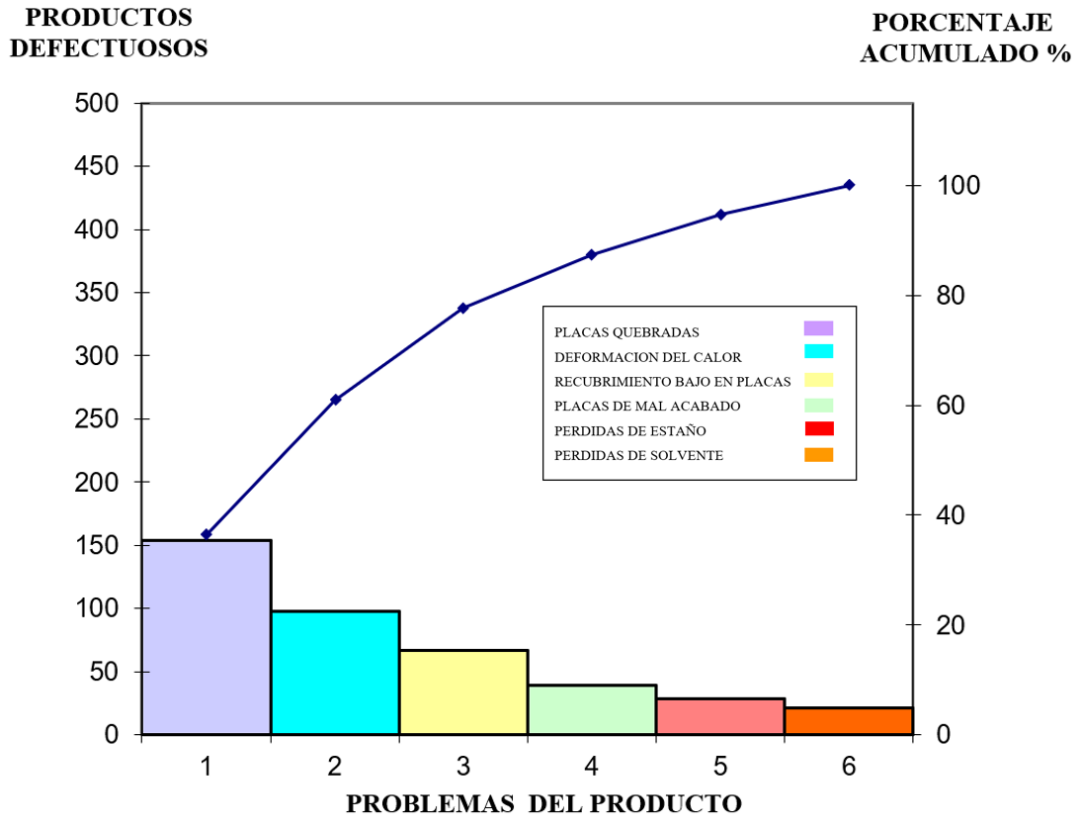


Figura 93. Diagrama de Pareto antes de la implementación

Fuente: Elaboración propia

Llevado la implementación y los diseños correspondientes se asume una nueva tabla 14 en donde las perdidas por material defectuoso serán menores que el primer caso, mejorando la productividad de esta, así como la disminución de costos que se presentaron a comienzos de la producción cuando este era conformado por los costos por el material defectuoso, así como el tercerizar el trabajo de estañado. (Ver figura 94)

Tabla 14. Registros del cuatrimestre aplicando el proyecto

ÍTEM	PROBLEMA	PRODUCTOS DEFECTUOSOS	PORCENTAJE (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)
1	Placas quebradas	15	28.30	28.30
2	Deformación por calor	13	24.53	52.83
3	Recubrimiento bajo	10	18.87	71.70
4	Placas de mal acabado	8	15.09	86.79
5	Perdidas de estaño	5	9.43	96.23
6	Perdidas de solvente	2	3.77	100
TOTAL		53	100	

Fuente: Elaboración propia

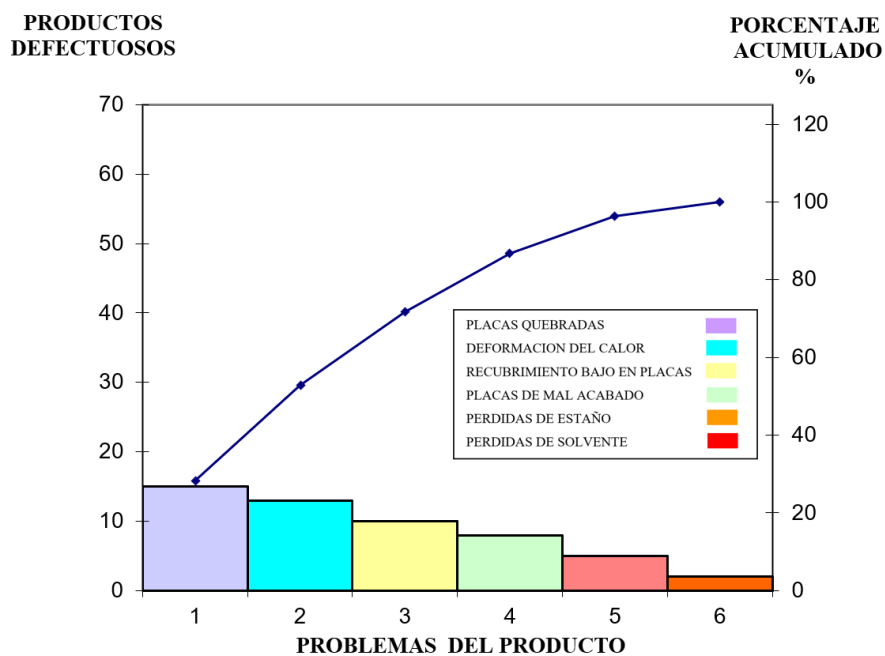


Figura 94. Diagrama de Pareto con la implementación

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 podemos ver que el margen de productos defectuosos disminuye, por mejora del propio en este caso un total de reducción en el material con un 28.30 %, para muestra de ello es los dos diagramas de Pareto con un antes y después con la implementación respectiva del proyecto, muestra de ello el material defectuoso resultante está en disminución, como se muestra en el primer diagrama los productos defectuosos asciende al 36.34 % durante el periodo de trabajo en el proceso de recubridor de placas de cobre.

El proceso mediante el cual muchas veces se contaba con terceros para su elaboración en el recubrimiento de estaño, ahora se realiza íntegramente los procesos de recubrimiento de estaño dentro de la empresa confirmando la eficacia del proyecto.

Las ventajas que encontramos en este proyecto es tener autonomía en el proceso por medio de diseños de maquinaria e implementaciones de ella, por nuestros ingenieros técnicos, entre otros, tal muestra sería el diagrama Pareto con implementación, prueba de ello el margen de porcentaje se reduce a un 28.3 % llegando a la obtención de mejora continua a medida que el tiempo de la elaboración lo determine.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

De la presenta investigación, podemos citar las siguientes conclusiones:

1. Fue posible diseñar e implementar la parte mecánica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre, para ello en la prueba uno se demostró que el carro transportador realizaba sus paradas en los lugares que previamente se establecieron para la carga, estañado y descarga del material.
2. Fue posible diseñar e implementar la parte eléctrica y electrónica del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre, para ello en la prueba dos se logró de manera efectiva el agarre de la matriz de sujeción gracias al accionamiento del circuito electroneumático.
3. Fue posible diseñar e implementar la parte informática del sistema automatizado para mejorar el proceso de recubrimiento de estaño en placas de cobre, para ello en la prueba tres se demostró que se realizó un control eficiente de la temperatura con la histéresis previamente establecida de 210 a 240°C.
4. Fue posible determinar la eficacia del sistema automatizado, para ello en la prueba cuatro se demostró que la placa llegó a sumergirse en la bandeja, concluyendo que la placa llega a recubrirse en su totalidad evitando así que el producto se descarte o se deseche.

CAPITULO VI: OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

De la presente investigación podemos mencionar las siguientes observaciones y recomendaciones:

1. El proceso de recubrimiento de estaño puede ser mejorado implementando una interfaz gráfica para el operador, o implementado SCADA, permitiendo controlar y supervisar nuestro proceso industrial a distancia.
2. Es posible mejorar la calidad del producto implementando un sistema de inteligencia artificial detectando al material recubierto a través de una cámara e informando en que porcentaje de recubrimiento se encuentra en estaño.
3. El carril de transporte puede ser mejorado implementando una cremallera de acero sobre ella y reemplazando las llantas por piñones, esto es para obtener una mejor precisión de posición del este al momento de detenerse ya que todo el sistema es de proceso continuo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alzate, A., Oquendo, C. y Muñoz, A. (2005). *Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolítico en Colombia*. Colombia: Editorial de la Universidad Pontificia Bolivariana.
2. Ambardar, A. (2002). *Procesamiento de señales analógicas y digitales*. Mexico: Thomson.
3. Apaza, D., y La Torre, I. (2017). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología Arduino en el laboratorio de Control y Automatización EPIME – 2016*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
4. Barahona, L., y Navarro, J. (2013). *Mejora del proceso de Galvanizado en un Empresa Manufacturera de Alambres de Acero Aplicando la Metodología Lean Six Sigma*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Perú.
5. Carrillo, A. (2011). *Sistemas automáticos de control: Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado*. Venezuela: UNERMB.
6. Castañeda, L., & Montealegre, L. (2003). *Diseño de un sistema de neutralización de aguas residuales industriales en el proceso de galvanizado*. Colombia: Editorial de la Universidad de la Sabana.
7. Castellanos, A., y Castillo, E. (2017). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para control de temperatura y tiempo en tostadoras conveccionales de café*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.
8. Castro, C., y Murillo, M. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo de sistema automatizado para la alimentación y climatización de una granja porcina*. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
9. Creus, A. (2007). *Neumática e hidráulica*. España: Marcombo.
10. Departamento de Ingeniería Metalúrgica. (2003). *Introducción a la Metalurgia*. Chile: Editorial de la Universidad de Santiago de Chile.
11. Espinoza, M., y Hidalgo, E. (2015). *Automatización del proceso de galvanización en caliente*. (Tesis de pregrado). Politécnico Nacional, México.

12. Fernández, J. (2011). *Sistemas electrónicos*. España: Editorial de la IES.
13. Giudice, C., y Pereyra, A. (2004). *Electrodeposición: Procesos Catódicos*. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
14. Maloney, T. (2006). *Electrónica Industrial Moderna*. México: Pearson.
15. Martín, J., y García, M. (2009). *Automatismo industriales*. España: Editex.
16. Martínez, H. (2015). *Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con Controladores Lógicos Programables*. Tesis de postgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
17. MiCRO. (2011). *Manual del Controlador Lógico Programable*. Argentina: Wilde.
18. Moncada, L. (2005). *Automatización y Control de Procesos*. Perú: Editorial de la Universidad Nacional de Trujillo.
19. Nordberg, G. (2012). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. En J. M. Stellman, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (pág. 63.18). España: Chantal Dufresne.
20. Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. España: Pearson.
21. Pérez, T. (2000). *Fundamentos y modelos matemáticos de los sistemas de control*. Venezuela: Editorial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio Jose de Sucre".
22. Ponsa, P., y Vilanova, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. España: Iniciativa Digital Politecnica.
23. *Propiedades químicas del Estaño*. (Fecha de consulta: 7 de agosto de 2018). Obtenido de Lenntech: <https://bit.ly/2KS0WID>
24. Ruiz, T., Arbelaiz, O., Etxebarria, I., y Ibarra, A. (2004). *Análisis Básico de Circuitos Eléctricos y Electrónicos*. España: Pearson.
25. Salcedo, A. (2014). *Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta hass*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Perú.
26. Sanchis, R., Romero, J., y Ariño, C. (2010). *Automatización Industrial*. España: Editorial de la Universidad Jaime I.
27. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (2001). *Libro Blanco de Minimización de Residuos y Emisiones en Procesos de Recubrimientos Electrolíticos*. España: Editorial de la Sociedad Pública Gestión Ambiental.

28. Solbes, R. (2014). *Automatismos Industriales*. España: Nau Llibres.
29. Yupanqui, B., Alcántara, D., Meléndez, A., y Chinchay, C. (2008). *Química I*.
Perú: Vicerrectorado de Investigación Universidad Tecnológica del Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	106
Anexo 2. Plano de la cartela triangular recta	107
Anexo 3. Plano de la cartela de seguridad para el carro	108
Anexo 4. Plano del cuadrante	109
Anexo 5. Plano del tubo cuadrado	110
Anexo 6. Plano de la base	111
Anexo 7. Plano de la viga	112
Anexo 8. Plano de parantes	113
Anexo 9. Plano de la mesa	114
Anexo 10. Plano de la bandeja	115
Anexo 11. Plano de la rejilla	116
Anexo 12. Plano de los ángulos	117
Anexo 13. Plano de la caja para fibra de vidrio	118
Anexo 14. Plano de la rueda	119
Anexo 15. Plano de la rueda fija	120
Anexo 16. Plano de la caja para carro	121
Anexo 17. Plano de la cartela para cilindro de doble efecto	122
Anexo 18. Plano de la plancha	123
Anexo 19. Plano de los ganchos	124
Anexo 20. Plano de los ejes	125
Anexo 21. Plano de la tolva	126
Anexo 22. Plano de la rejilla de la tolva	127
Anexo 23. Plano de la turbina	128
Anexo 24. Plano de la matriz de sujeción	129
Anexo 25. Plano de la placa de cobre	130
Anexo 26. Vista isométrica general del sistema automatizado	131
Anexo 27. Esquema del tablero eléctrico	132
Anexo 28. Esquema de las fuentes de 24 VDC	133
Anexo 29. Esquema del sistema de potencia y cambio de giro del motor	134
Anexo 30. Esquema entradas al PLC	135

Anexo 31. Esquema salidas del PLC	136
Anexo 32. Esquema entradas al módulo de ampliación	137
Anexo 33. Esquema salidas del módulo de ampliación	138
Anexo 34. Esquema del circuito electroneumático	139
Anexo 35. Esquema del circuito de seguridad para gas propano	140
Anexo 36. Diagrama de entradas y salidas vs tiempo	141
Anexo 37. Diagrama de flujo para programación Ladder	142
Anexo 38. Programación Ladder	143
Anexo 39. Fichas técnicas de las vigas H ASTM A36	152
Anexo 40. Ficha técnica del PLC Easy Moeller 621-DC-TC	157
Anexo 41. Ficha técnica del controlador TCN4S	159
Anexo 42. Tabla de temperatura vs mili voltios de la termocupla tipo J	160
Anexo 43. Ficha técnica de la válvula de gas propano	162