

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACION DE PINTURA
AUTOMATICA PARA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE EN LA UNIDAD
CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA.**

**JUAN ALEJANDRO CRUZ ARANGO
GIOHANNY MEJÍA SALAZAR**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
TULUA, VALLE
2016**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACION DE PINTURA
AUTOMATICA PARA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE EN LA UNIDAD
CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA.**

**JUAN ALEJANDRO CRUZ ARANGO
GIOHANNY MEJIA SALAZAR**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

**Director
Ing. Jhon Jairo Girón Arbeláez**

**UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA
TULUA, VALLE
2016**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Tuluá, Septiembre de 2016

DEDICATORIA

“A la vida por permitirme vivir esta alegría tan grande al ver uno de mis sueños cumplidos. Mis padres Hebert Cruz Pérez, Elvia Inés Arango Llanos por alentarme y guiarme en todo camino y decisión tomada. Mis familiares y hermanos quienes son pilares fundamentales en mi vida. Sandra Ivette Henao quien me enseñó a superarme a mí mismo.”

Juan Alejandro Cruz Arango.

“A mis familiares que me apoyaron durante todo el proceso educativo, principalmente a mi madre Luz Stella Salazar Mejía y Jorge Luis Gutierrez García que me criaron y enseñaron valores éticos y morales. A mis abuelos Octavio de Jesús Mejía Alzate y Carmen Tulia Mejía Alzate por ser mi motivación para salir adelante, mi hermano Jorge Andrés Gutierrez Salazar que siempre me saca una sonrisa, a mis tías y primos que siempre estuvieron pendientes de mí y me brindaron su ayuda en momentos necesarios y a Jackeline Varón Morales por el amor que siempre me ha brindado.”

Giohanny Mejia Salazar.

AGRADECIMIENTOS

Ingeniero Esp. Jhon Jairo Girón Arbeláez, Director de tesis.

Magister Ing. William Bolaños Valencia, Gestor del proyecto de la planta de manufactura flexible del Laboratorio GEIPRO de Ingeniería Industrial.

Biólogo Wilson Devia Álvarez, Asesor de Tesis.

Magister Ing. Iván Darío Aristizabal Henao, Coordinador del Programa Ingeniería Electrónica.

Jamilton Giraldo Taborda, Jose Andrés Arce Montoya, Ingeniero Andrés Felipe, Walter Polindara Lozano, Ingeniero Danny Fernando Cruz Arango, Ingeniero Harold Andres Mendoza Montoya, Licenciada Jackeline Varón Morales. Por su colaboración en la consecución de este proyecto.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
CONTENIDO.....	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	10
GLOSARIO	11
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACION.....	17
3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos	18
4. MARCO REFERENCIAL	19
4.1. Marco histórico.....	19
4.1.1. <i>Historia de la automatización</i>	19
4.1.2. <i>Colombia y la automatización</i>	20
4.1.3. <i>Desarrollos históricos de la teoría y práctica del control</i>	22
4.1.4. <i>Historia de los controladores lógicos programables</i>	23
4.1.5. <i>Historia de la manufactura</i>	24
4.2. Marco conceptual	30
4.2.1 <i>Manufactura</i>	30
4.2.2. <i>Propiedades de los materiales</i>	33
4.2.3. <i>Selección de procesos de manufactura</i>	34
4.2.4. <i>Automatización</i>	41
4.2.5. <i>Controlador Lógico Programable - ¿Qué es un PLC?</i>	44
4.2.6. <i>Sensores</i>	47
4.2.7. <i>Pistolas, aerógrafos y pintura</i>	55
4.3. Marco legal.....	64
4.3.1. <i>Normativas y normalización internacionales</i>	64
4.3.2. <i>Normativas y normalización nacionales</i>	65
5. DISEÑO METODOLÓGICO	66

5.1.	Tipo y enfoque de la investigación.....	66
5.2.	Etapas del proyecto.....	66
5.2.1.	<i>Etapa 1. Dimensionamiento del proyecto</i>	66
5.2.2.	<i>Etapa 2. Realización de planos</i>	70
5.2.3.	<i>Etapa 3. Selección de sensores</i>	73
6.	RESULTADOS	76
6.1.	Construcción del prototipo con base en el diseño seleccionado.....	76
6.2.	Componentes utilizados para la implementación del prototipo	81
6.2.1.	<i>Actuadores</i>	81
6.2.2.	<i>Sensores</i>	84
6.2.3.	<i>Dispositivos de control</i>	86
6.2.4.	<i>Elementos de protección</i>	91
6.2.5.	<i>Elementos de suministro eléctrico</i>	92
6.2.6.	<i>Software utilizado</i>	94
6.3.	Códigos y programación para automatización del prototipo.....	95
6.3.1.	<i>Programa LADDER para PLC S7 200</i>	95
6.3.2.	<i>Programa JAVA para Arduino Leonardo</i>	100
6.4.	Pruebas de funcionamiento.....	102
6.4.1.	<i>Prueba de enclavamiento de inicio</i>	102
6.4.2.	<i>Prueba de paro de emergencia</i>	103
6.4.3.	<i>Prueba de funcionamiento túnel de calor</i>	103
6.4.4.	<i>Prueba de funcionamiento activación bandas transportadoras</i>	104
7.	CONCLUSIONES.....	107
8.	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA	109
	ANEXO	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura	27
Figura 2. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura	28
Figura 3. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura	29
Figura 4. Pasos comprendidos en el diseño y la manufactura de un producto	32
Figura 5. Características generales de manufactura de diversas aleaciones	34
Figura 6. Esquemas de diversos procesos de fundición	35
Figura 7. Esquemas de diversos procesos de deformación volumétrica	36
Figura 8. Esquemas de diversos procesos de formado de hojas metálicas	37
Figura 9. Esquemas de diversos métodos de procesamiento de polímeros	38
Figura 10. Esquemas de diversos procesos de maquinado y acabado	39
Figura 11. Esquemas de diversos procesos de unión	40
Figura 12. Diagrama de un sistema de control	41
Figura 13.. La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso	42
Figura 14. Distintos tipos de entradas aplicadas a los sistemas de control	42
Figura 15. Estructura de un PLC.....	47
Figura 16. Interpretación de los sensores en un sistema de control	48
Figura 17. Sensor, unidad de control y actuador de un velocímetro.....	49
Figura 18. Variación en el flujo magnético de un sensor por movimiento de una rueda dentada.....	50
Figura 19. Potenciómetro, sensor por conductividad eléctrica mecánico	50
Figura 20. Transmisor de temperatura del líquido refrigerante de un carro	51
Figura 21. Símbolo del transmisor de temperatura	52
Figura 22. Fotosensor para radiación solar.....	52
Figura 23. Símbolo del fotosensor.....	53
Figura 24. Estructura interna de un cristal piezoeléctrico.....	53
Figura 25. Funcionamiento de un sensor volumétrico por ultrasonido	54
Figura 26. Mando a distancia de cierre centralizado y activación de alarmas por radiofrecuencia	55
Figura 27. Tipos de mezcla	56
Figura 28. Aerógrafo doble acción.....	57
Figura 29. Alimentación de pintura por gravedad	58
Figura 30. Alimentación de pintura por succión	59
Figura 31. Diferentes tipos de cabinas de pintura	68
Figura 32. Tipos de aerógrafos	69
Figura 33. Base de la cabina de pintura.....	70
Figura 34. Parte superior de la cabina de pintura.....	71
Figura 35. Diseño de bandas transportadoras	72
Figura 36. Diseño del prototipo completo.....	73
Figura 37. Tipos de sensores	74
Figura 38. Tipos de motores.....	74
Figura 39.. Primera etapa prototipo.....	77
Figura 40. Banda transportadora	77
Figura 41. Instalación de bandas transportadoras.....	78
Figura 42. Instalación de electroválvulas para control de aire.....	78
Figura 43.. Instalación de aerógrafos	79
Figura 44. Instalación del sistema de extracción	79
Figura 45. Bandeja para el filtro de pintura.....	80
Figura 46. Túnel de secado por fuera	80
Figura 47. Túnel de secado por dentro	81
Figura 48. Aerógrafo	82
Figura 49. Extractor de aire.....	83

Figura 50. Cable de fibra de carbón.....	84
Figura 51. Sensor de proximidad LJC18A31	85
Figura 52. Termopar tipo K	85
Figura 53. Control PID de temperatura REX C-100.....	86
Figura 54. Driver L-298 N.....	87
Figura 55. Arduino Leonardo.....	88
Figura 56. PLC S7 200	89
Figura 57. Relé de estado sólido SSR-40 DA	90
Figura 58. Relé 8 pines 24VDC.....	91
Figura 59. Protección termomagnética	92
Figura 60. Fuente DC 24V 5A	93
Figura 61. Fuente DC 12V 5A.....	93
Figura 62. Portada STEP 7 – Micro/WIN	94
Figura 63. Portada ARDUINO 1.6.0.....	95
Figura 64. Redes 1 y 2 del programa del PLC	97
Figura 65. Redes 3 y 4 del programa del PLC	97
Figura 66. Redes 5 y 6 del programa del PLC	98
Figura 67. Redes 7 y 8 del programa del PLC	99
Figura 68. Redes 9 y 10 del programa del PLC	100
Figura 69. Red 11 del programa del PLC	100
Figura 70. Parámetros iniciales programa JAVA para Arduino Leonardo	101
Figura 71. Función de configuraciones programa JAVA para Arduino Leonardo.....	101
Figura 72. Función principal programa JAVA para Arduino Leonardo.....	102
Figura 73. Estados principales de funcionamiento del prototipo.....	102
Figura 74. Parada de emergencia del prototipo.	103
Figura 75. Pantalla de configuración sistema de control temperatura.	104
Figura 76. Driver activador del movimiento de las bandas transportadoras.	104
Figura 77. Cubo de madera a procesar.	105
Figura 78. Tanque de pintura, tablero eléctrico y de control del prototipo.	105
Figura 79. Electroválvulas de control de pintura y aire.....	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica de aerógrafos	82
Tabla 2. Ficha técnica de extractor de aire	83
Tabla 3. Ficha técnica de cable de fibra de carbón	84
Tabla 4. Ficha técnica de sensor de proximidad	85
Tabla 5. Ficha técnica de termopar tipo K	86
Tabla 6. Ficha técnica de Control PID de temperatura.....	87
Tabla 7. Ficha técnica de Driver L-298 N.....	87
Tabla 8. Ficha técnica de Arduino Leonardo.....	88
Tabla 9. Ficha técnica de PLC S7 200	89
Tabla 10. Ficha técnica de SSR-40 DA	90
Tabla 11. Ficha técnica de Relé 8 pines 24VDC	91
Tabla 12. Ficha técnica de interruptor termomagnético.....	92
Tabla 13. Ficha técnica de fuente DC 24V 5A.....	93
Tabla 14. Ficha técnica de fuente DC 12V 5A.....	94
Tabla 15. Configuración de entradas del PLC.....	96
Tabla 16. Configuración de salidas del PLC.....	96

GLOSARIO

AERÓGRAFO: Dispositivo neumático que genera un fino rocío de pintura, tinte o revestimiento protector de diámetros variados y que sirve para recubrir superficies generalmente pequeñas con fines artísticos o industriales.

ARDUINO: Compañía de hardware libre y comunidad tecnológica que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware y software compuesta respectivamente por circuitos impresos que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE) en donde se programa cada placa.

AUTÓMATA: Máquina que contiene un mecanismo que le permite realizar determinados movimientos de manera autónoma.

BANDA TRANSPORTADORA: Sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores. Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por su motor. Esta fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda transportadora.

ELECTROVÁLVULA: También conocida como válvula solenoide. Es una válvula que, por medio de un electroimán, regula el caudal de un líquido.

FMS: Flexible Manufacturing Systems. Sistema de Manufactura Flexible. Es un grupo de estaciones de procesamiento (predominantemente maquinas herramientas CNC), interconectadas por medio de un sistema de manejo y recuperación de material automático.

GEIPRO: Grupo de Estudio e Investigación en Productividad, GEIPRO, es un semillero de investigación que se dedica al fortalecimiento de los procesos de formación en Ingeniería, en especial en Ingeniería Industrial, por medio de prácticas pedagógicas innovadoras. Pertenece a la Unidad Central del Valle, ubicado en Tuluá, Valle del Cauca, Colombia

I.S.O: International Organization for Standardization. Organización Internacional de Normalización.

LADDER: Es un lenguaje de programación gráfico aplicado a los autómatas programables, y se caracteriza por estar basado en esquemas eléctricos de control clásico.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

PLANTA DE MANUFACTURA: Es un conjunto de estaciones de trabajo, que operan de manera coordinada para la elaboración de un producto, y que además permiten la fabricación en serie de dicho producto.

PLC: Programmable Logic Controller. Controlador Lógico Programable. Es un dispositivo electrónico que puede ser programado por el usuario y se utiliza en la industria para resolver problemas de secuencias en la maquinaria o procesos, ahorrando costos en mantenimiento y aumentando la confiabilidad de los equipos.

RELÉ: El Relé o Relevador es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

SISTEMA DE CONTROL: Conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados.

SSR: Solid State Relay. Relé de Estado Sólido. Es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control. Utilizan semiconductores de potencia como tiristores y transistores para conmutar corrientes hasta más de 100 amperios.

RESUMEN

Por medio del presente documento se da a conocer el proceso de construcción de una cabina de pintura automática para la celda de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO de la Unidad Central del Valle del Cauca UCEVA, llevada a cabo por los estudiantes de ingeniería electrónica Juan Alejandro Cruz Arango y Giohanny Mejia Salazar.

El prototipo está conformado principalmente, por una estructura en hierro con un sistema de extracción en la parte inferior, bandas transportadoras que desplazan el producto a través de la estación, aerógrafos de pintura y un túnel de secado a alta temperatura. Los motores de las bandas transportadoras se controlan desde un dispositivo de programación Arduino Leonardo y drivers L-298N. El túnel de secado utiliza un control PID de temperatura regulable con una termocupla tipo K y cable de fibra de carbón. El proceso de pintado está controlado por un PLC S7-200, sensores de proximidad capacitivos y electroválvulas.

El funcionamiento de la estación de pintura consiste en recibir los bloques de madera cortados sobre una banda transportadora, a medida que el bloque avanza, los sensores detectan su presencia y accionan las electroválvulas por un periodo de tiempo corto; luego pasa a través del túnel de secado y al salir de allí el bloque queda pintado y seco.

Este proyecto es el resultado de la aplicación de conocimientos adquiridos en la formación académica y profesional de la carrera profesional Ingeniería Electrónica adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Unidad Central del Valle y los conocimientos investigados sobre automatización en la industria en diversas fuentes de información.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los avances tecnológicos en la industria han permitido implementar estaciones de trabajo automáticas para reducir tiempos de producción, accidentalidad, costos de materia prima y aumentar producción a las empresas con trabajos repetitivos o de alto riesgo. La automatización de procesos industriales está en constante evolución, permitiendo que las plantas de producción y manufactura puedan realizar sus productos con mayor efectividad, generando un gran impacto en la sociedad.

Las estaciones de pintura por lo general buscan realizar la acción reduciendo tiempos y embotellamientos en la línea de producción y al mismo tiempo reducir la pérdida de materia prima utilizada. Debido a que el proceso de pintura realizado por el ser humano suele ser inconstante, es necesario automatizar el proceso para poder llevar un control real de la materia prima utilizada y el tiempo que se tarda en terminar el proceso.

Este proyecto abarca los procedimientos de diseño e implementación de un prototipo de estación de pintura automática, para poder realizar la tarea de pintar los materiales procesados por la planta de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO, de la Unidad Central del Valle. Además, permitirá la experimentación controlada del prototipo en este laboratorio, para el desarrollo académico y profesional de la institución.

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo, por medio de un proceso sistemático, dividido por fases de actividades, tales como el análisis del problema, búsqueda de posibles soluciones o alternativas, elección de un modelo a seguir y diseño de un prototipo óptimo y funcional, para luego ser montado e implementado en su área de trabajo dentro de la planta de manufactura flexible.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según lo determinado en el proyecto de la planta de manufactura flexible de la Unidad Central del Valle del Cauca UCEVA, se dice que “a lo largo de las últimas décadas, los sistemas productivos han presentado una evolución dinámica, creciente y veloz, frente a las condiciones en que han sido creados inicialmente. Los Sistemas de Manufactura ahora han involucrado el componente de “flexibilidad” desde un enfoque estructural, facilitando el acceso a máquinas, procesos, herramientas, materiales y personas a través de una redefinición de sistema de manufactura.” La facultad de ingenierías de la UCEVA Tuluá está buscando un proyecto integrado, consistente en una celda de manufactura flexible para mejorar la calidad de la aplicación práctica en el área de producción de la universidad y por ser un prototipo, se puede mejorar o ir adecuando a las necesidades que requieran los operarios y/o estudiantes.

A diferencia de algunas plantas de manufactura flexible existentes que son utilizadas por varias universidades en Colombia, como por ejemplo el “Laboratorio de manufactura flexible de mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP)”¹, adscrita a la facultad de ingeniería mecánica; el prototipo será un sistema abierto al cual se le pueden realizar modificaciones estructurales para incluir otras variables técnicas acordes a las necesidades de formación de los estudiantes. Es un proyecto innovador, de desarrollo tecnológico; que será elaborado con tecnología propia y a escala real. Normalmente, los proveedores de estas plantas de manufactura flexible están localizados fuera de Colombia, algunas universidades cuentan con prototipos a escala de estas plantas de manufactura flexible, son sistemas cerrados que son modificados solamente por los proveedores.

Una cabina de pintura automatizada permite que el proceso en una planta se realice más rápido y de mejor calidad, en la celda de manufactura flexible se deben pintar bloques de diferente tamaño, debido a que será construida para realizar diferentes productos.

Con los prototipos que componen la celda de manufactura flexible se estimula a los estudiantes a que se integren a un grupo de investigación y desarrollen nuevos proyectos los cuales contribuirán al desarrollo de la formación académica de la UCEVA; aportando no solo conocimientos teóricos, sino también otorgando experiencia en actividades prácticas, muestra de ello, el presente proyecto.

¹ FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, UTP [en línea]. [Fecha de consulta: 27/11/16]. Disponible en <http://mecanica.utp.edu.co/laboratorio-de-manufactura-flexible-de-mecanica.html>

Por lo tanto, se debe satisfacer la necesidad de construir un dispositivo que se acople a las necesidades de la celda de manufactura flexible donde existe la posibilidad de crear un trabajo conjunto multipropósito.

2. JUSTIFICACION

En los procesos de enseñanza aprendizaje de los estudiantes de ingeniería industrial es muy importante desarrollar competencias específicas para administrar procesos productivos automatizados. Además, conocer su funcionamiento; medir y evaluar el comportamiento de los diferentes procesos que lo integran; planear y controlar las diferentes variables técnicas que afectan su desempeño. En este sentido, se hace necesario desarrollar una planta de manufactura flexible que le permita al estudiante simular la capacidad de un sistema de producción, el tiempo de ciclo del proceso, los tiempos improductivos, la eficiencia, las velocidades de los equipos, las distancias, el flujo de los materiales, entre otros.²

Este proyecto se justifica en la medida que brindará una mejora en la etapa práctica de los procesos de manufactura de la UCEVA dado que los estudiantes de ingenierías quienes son la población directamente beneficiada, estarán más cerca de la realidad de la industria y el sector productivo, además, los estudiantes podrán identificar los diferentes procesos que puede haber en el área de producción de una empresa. Así pues, este proyecto entre sus múltiples beneficios, logra que los estudiantes se relacionen como operarios y no como obreros. Por otra parte, la Unidad Central del Valle del Cauca también se verá beneficiada debido este prototipo aporta a los procesos de formación y sirve como herramienta para los profesores de áreas a fines al proyecto.

Hoy por hoy, la UCEVA no posee una línea de producción automatizada que permita el estudio y optimización de tiempos establecidos en el área de producción para aumentar la rentabilidad, disminuir costos o aumentar la producción de la planta. La celda de manufactura flexible permitirá que se realicen diversos procesos en tiempos variables, lo cual posibilitará la aplicación de conocimientos teóricos, fomentando la práctica como quehacer académico.

² Área de planeación de Ingenierías, proyecto de investigación Planta de manufactura flexible para el laboratorio de Ingeniería Industrial.

3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de estación de pintura automática para celda de manufactura flexible.

3.2. Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico del estado del arte relacionado con las características generales de las cabinas de pintura a implementar.
2. Diseñar los planos de la cabina de pintura de acuerdo a las propuestas revisadas.
3. Desarrollar las partes físicas de la estación de pintura de acuerdo a los diseños propuestos.
4. Implementar o montar y evaluar el prototipo de estación de pintura automática desarrollado.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco histórico

4.1.1. *Historia de la automatización*

- *Edad media y renacimiento*

En esta época se trabajó en diferentes dispositivos que de forma automática controlaban el tiempo, dando forma así a la industria relojera en Europa.

También son famosos los trabajos de Leonardo Da Vinci, quien esbozó en sus escritos, complejos artefactos que tenían la capacidad de moverse, programar trayectorias y movimientos e incluso un “robot” que tenía la habilidad de pararse, girar la cabeza y sentarse, todos estos trabajos muestran la creatividad de los inventores de la época.³

- *Revolución industrial*

Esta época corresponde al periodo que abarca entre la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Dicho momento histórico es fundamental en el desarrollo de la automatización industrial pues en ella hacen aparición diferentes mecanismos de control, se desarrolla el motor de vapor y la industria textil automatizó muchos de sus procesos con el uso de equipos como el telar de Jacquard, que basado en tarjetas perforadas permitía a una persona inexperta tejer complejos diseños.

Son también invenciones de la época, los molinos, hornos, ferrocarriles y fundiciones que contaban con complejos mecanismos de control.⁴

- *Segunda revolución industrial*

Comprendida entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX se caracteriza por profundos cambios económicos en el mundo, pasando de economías predominantemente agrarias a economías de consumo y producción masiva de

³ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Pagina número 7

⁴ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Pagina número 7

bienes. Son característicos de esta época, la invención del motor de combustión interna, el auge de la electricidad entre otras nuevas fuentes de energía y la masificación de las comunicaciones, todos estos adelantos permiten a países como Estados Unidos, Alemania, Francia y Japón liderar los desarrollos tecnológicos de la época.

Con el incremento de la demanda de bienes se impuso el modelo de producción en línea (modelo desarrollado por Henry Ford) el cual permitía aumentar la productividad de la industria, disminuir costos, aumentar la homogeneidad de los productos, lo que hizo necesario la introducción de dispositivos de control para las principales variables de los procesos industriales (presión, temperatura, flujo, etc.) y el necesario desarrollo de los sistemas de automatización para las labores repetitivas en las líneas de producción.⁵

- *Tercera revolución Industrial*

Se inicia al finalizar la segunda guerra mundial hasta la actualidad. Se le denomina la “Revolución de la Inteligencia” y se caracteriza por un vertiginoso cambio en el estado del arte, donde se estima que el conocimiento se duplica cada cinco años. En este panorama la automatización no se queda relegada y es en este periodo en el que se dan los principales desarrollos, pasando de la lógica cableada y el uso de relevos y contactores, para el control de procesos industriales, a las modernas técnicas de control que incluyen el uso de controladores lógicos programables (PLC), controladores analógicos programables (PAC), el uso de la inteligencia artificial. Todos estos desarrollos han permitido el auge del Capitalismo y la producción masiva de productos, que ha conducido al surgimiento de nuevas potencias económicas como son China y el bloque de países asiáticos, que gracias a la automatización de sus industrias tienen la capacidad de producir bienes de consumo en forma ininterrumpida sobre la base del uso masivo de robots, el desarrollo de la visión artificial y la logística basada en el control autónomo, lo que garantiza el manejo de bodegas sin la necesidad de la intervención humana, aumentando su capacidad de producción a niveles máximos.⁶

4.1.2. Colombia y la automatización

La globalización de los modelos económicos, ha obligado a todos los países del mundo a mejorar y a hacer más eficientes sus procesos productivos. En este sentido, Colombia no ha sido ajena; sin embargo, la ausencia de políticas de estado

⁵ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Pagina número 7

⁶ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Pagina número 7

que incentiven la inversión e investigación en tecnologías del área de la automatización, ha conducido a que estos procesos sólo hayan sido realizados en las grandes industrias del país, especialmente las del sector de las bebidas, la industria del cemento y los alimentos, las cuales tienen la capacidad económica para asumir los costos de su implementación. De otra parte, las medianas y pequeñas industrias (que conforman la mayor parte de la producción nacional) se han quedado rezagadas ante estos desarrollos y es solo, por la presión de los mercados que se han visto obligadas a modernizar sus plantas, buscando incrementar la producción y disminuir costos, con el fin de ser competitivos en los nuevos nichos que se abren gracias a los tratados de libre comercio que el país ha firmado y que continuará estableciendo.⁷

Esta ausencia de políticas de Estado, para incentivar el desarrollo de la industria colombiana dirigidas al fomento de la Investigación en tecnología y automatización de la industria, ha conducido a que la economía del país se base en la exportación de materias primas sin ningún valor agregado y la importación de tecnologías y productos terminados a altos costos. La falta de una política de estado clara en ciencia y tecnología en nuestro país, contrasta con las implementadas en países de industrialización tardía como Malasia, India, Corea del Sur y Brasil entre otros, que al adaptar políticas claras para el fomento de las mismas, a la par de brindar un apoyo a las industrias e impulsar la automatización de sus procesos, lograron un crecimiento significativo del PIB y una mejoría sustancial en la calidad de vida de sus habitantes.

Otro factor que ha dificultado el desarrollo de la industria colombiana, es la separación evidente entre las instituciones de educación y la empresa, que ha originado la formación masiva de ingenieros, con una baja cultura de investigación y desarrollo, además de una orientación que propende por la adaptación de la tecnología existente, lo que conduce a desempeños básicamente en áreas de mantenimiento y operación de la misma, alejando las posibilidades de desarrollo e innovación. Otra dificultad que enfrenta el país es el factor cultural, que hace que el colombiano tenga una percepción errada frente al nivel de formación que requiere. Es así como las carreras técnicas y tecnológicas son consideradas “de menor nivel” en relación con la formación universitaria lo cual ha conducido a una sobreoferta de profesionales con formación universitaria y escasez de aquellos que cuentan con formación de índole técnica y tecnológica, que son los que verdaderamente requiere la industria nacional.

A pesar de que el gobierno ha tomado conciencia de este problema y ha orientado sus esfuerzos a la promoción de la formación técnica y tecnológica, es importante trabajar también en cambiar la percepción tanto de los estudiantes (que consideran que es más profesional una carrera universitaria que una tecnológica) como de los empresarios (que se debe reflejar, en una mejor escala salarial) para que el país, al igual que lo hacen las naciones industrializadas, logre formar un mayor porcentaje

⁷ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Paginas número 7 - 8

de técnicos y tecnólogos, que en últimas, son la fuerza laboral que requiere la industria nacional, para menguar considerablemente su atraso tecnológico.⁸

4.1.3. Desarrollos históricos de la teoría y práctica del control

El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo dieciocho, Minorsky, Hazen y Nyquist, entre muchos otros, aportaron trabajos importantes en las etapas iniciales del desarrollo de la teoría de control. En 1922, Minorsky trabajó en controladores automáticos para el guiado de embarcaciones, y mostró que la estabilidad puede determinarse a partir de las ecuaciones diferenciales que describen el sistema. En 1932, Nyquist diseñó un procedimiento relativamente simple para determinar la estabilidad de sistemas en lazo cerrado, a partir de la respuesta en lazo abierto a entradas sinusoidales en estado estacionario. En 1934, Hazen, quien introdujo el término servomecanismos para los sistemas de control de posición, analizó el diseño de los servomecanismos con relé, capaces de seguir con precisión una entrada cambiante.

Durante la década de los cuarenta, los métodos de la respuesta en frecuencia (especialmente los diagramas de Bode) hicieron posible que los ingenieros diseñaran sistemas de control lineales en lazo cerrado que cumplieran los requisitos de comportamiento. En los años cuarenta y cincuenta muchos sistemas de control industrial utilizaban controladores PID para el control de la presión, de la temperatura, etc. A comienzos de la década de los cuarenta Ziegler y Nichols establecieron reglas para sintonizar controladores PID, las denominadas reglas de sintonía de Ziegler-Nichols. A finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, se desarrolló por completo el método del lugar de las raíces propuesto por Evans.

Los métodos de respuesta en frecuencia y del lugar de las raíces, que forman el núcleo de la teoría de control clásica, conducen a sistemas estables que satisfacen un conjunto más o menos arbitrario de requisitos de comportamiento. En general, estos sistemas son aceptables, pero no óptimos desde ningún punto de vista. Desde el final de la década de los cincuenta, el énfasis en los problemas de diseño de control se ha desplazado del diseño de uno de los posibles sistemas que funciona adecuadamente al diseño de un sistema óptimo respecto de algún criterio.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere una gran cantidad de ecuaciones. La teoría de control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su potencialidad cuando se trabaja con sistemas con entradas y salidas múltiples. Hacia 1960, debido a la disponibilidad de las

⁸ Automatización industrial, evolución y retos en una economía globalizada. Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Universidad minuto de Dios - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Paginas número 7 - 8

computadoras digitales fue posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos. La teoría de control moderna, basada en el análisis en el dominio del tiempo y la síntesis a partir de variables de estados, se ha desarrollado para manejar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requisitos cada vez más exigentes sobre precisión, peso y coste en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

Durante los años comprendidos entre 1960 y 1980, se investigó a fondo el control óptimo tanto de sistemas determinísticos como estocásticos, así como el control adaptativo y con aprendizaje de sistemas complejos. Desde la década de los ochenta hasta la de los noventa, los avances en la teoría de control moderna se centraron en el control robusto y temas relacionados.

La teoría de control moderna se basa en el análisis en el dominio temporal de los sistemas de ecuaciones diferenciales. La teoría de control moderna simplificó el diseño de los sistemas de control porque se basa en un modelo del sistema real que se quiere controlar. Sin embargo, la estabilidad del sistema depende del error entre el sistema real y su modelo. Esto significa que cuando el controlador diseñado basado en un modelo se aplica al sistema real, éste puede no ser estable. Esta teoría incorpora tanto la aproximación de respuesta en frecuencia como la del dominio temporal. Esta teoría es matemáticamente muy compleja.⁹

4.1.4. Historia de los controladores lógicos programables

Los PLC fueron introducidos a fines de los años 60. La razón de su aparición fue la necesidad de eliminar los complicados y costosos sistemas de control de máquinas basados en relés. Bedford Associates propuso algo llamado Controlador Modular Digital (MODICON) a la General Motors. Al mismo tiempo, otras compañías propusieron esquemas basados en computadoras, uno de los cuales fue PKP-8. El MODICOM 084 llegó a ser el primer PLC en producción a escala comercial.

Cuando hay cambios en los requerimientos de producción, éstos involucran al sistema de control. Estas modificaciones llegan a ser muy caras si los cambios requeridos son frecuentes. Debido a que los relés son aparatos mecánicos, éstos tienen una vida limitada que obliga a apegarse a estrictos programas de mantenimiento. El encontrar las fallas en uno de estos sistemas, es una tarea complicada cuando involucra una cantidad importante de relés.

Estos nuevos controladores debían ser fáciles de programar por los ingenieros de mantenimiento o de planta. También debían ser capaces de funcionar en los agresivos ambientes industriales. La forma de lograr esto fue usar técnicas de

⁹ Ingeniería de control moderna Katsuhiko Ogata • Pearson Quinta edición Página 1

programación con las que los programadores estaban familiarizados y reemplazar los relés mecánicos con elementos electrónicos de estado sólido.

A mediados de los años 70 los PLC comenzaron a tener habilidades de comunicación. El primer sistema de comunicación fue el MODBUS de MODICON. Ahora los controladores se podían comunicar entre sí para coordinar el accionar de un conjunto de máquinas. También se les agregaron capacidades de transmitir y recibir voltajes variables que le permitían recibir señales analógicas. Desdichadamente, la carencia de estandarización en estos sistemas, unido a los protocolos y redes físicas, originó la decadencia de su aplicación.

Durante los años 80 se apreció un intento por estandarizar las comunicaciones con el protocolo de automatización de manufactura de la General Motors (MAP) Al mismo tiempo, se tendió a la miniaturización de los equipos y la utilización de lenguajes simbólicos de programación en computadoras personales o programadoras portátiles. Hoy en día los PLC más pequeños son de tamaño de un sólo relé.

En los 90 se ha visto una reducción gradual en la introducción de protocolos nuevos, y la modernización de las capas físicas de algunos de los protocolos más populares que sobrevivieron a los años 80. El último modelo ha tratado de reunir los lenguajes de los PLC bajo un estándar internacional único.

Ahora se cuenta con controladores programables con función de diagramas de bloques, lista de instrucciones, lenguajes de programación C o texto estructurado, todo al mismo tiempo. También se ha visto que se están introduciendo computadoras personales para reemplazar en algunas aplicaciones específicas a los PLC. Es el caso de la General Motors, que ha llevado sus sistemas a control basado en computadoras.¹⁰

4.1.5. Historia de la manufactura

La manufactura se originó entre los años 5000 y 4000 a.C. (tabla I.2). Es más antigua que la historia registrada. Las marcas y los dibujos en las cuevas o en las rocas primitivas dependían de alguna forma de marcador o brocha, y se empleaba una “pintura” o algún medio para grabar en la roca. Era necesario fabricar herramientas apropiadas para esas aplicaciones. La manufactura de productos que tenían diversos usos específicos comenzó con la producción de artículos de madera, cerámica, piedra y metal. Los materiales y procesos que se utilizaron para

¹⁰ CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

dar forma a productos mediante la fundición y el martillado se han desarrollado gradualmente a lo largo de los siglos, usando nuevos materiales y operaciones más complejas, con crecientes capacidades de producción y mayores niveles de calidad.

Los primeros materiales utilizados para fabricar utensilios domésticos y objetos ornamentales incluían metales como el oro, cobre e hierro, seguidos de la plata, el plomo, estaño, latón y bronce. La producción de acero (entre los años 600 y 800 d.C.) constituyó un hito importante; desde entonces se ha desarrollado una variedad muy amplia de metales ferrosos y no ferrosos. En la actualidad, los materiales que se emplean en productos avanzados, como computadoras y aeronaves supersónicas, incluyen materiales de ingeniería (desarrollados para ese fin) con propiedades únicas, como cerámicos avanzados, plásticos reforzados, materiales compuestos y nanomateriales.

Hasta antes de la Revolución Industrial, que comenzó en Inglaterra durante la década de 1750, los bienes se producían en lotes y se requería mucha confianza en la mano de obra en todas las fases de la producción. A dicha revolución también se le denomina Primera Revolución Industrial, ya que la segunda comenzó a mediados del siglo XX con el desarrollo de los dispositivos electrónicos de estado sólido y las computadoras. La mecanización moderna comenzó en Inglaterra y el resto de Europa con el desarrollo de la maquinaria textil y de las máquinas herramienta para cortar metales. Esta tecnología se trasladó rápidamente a Estados Unidos, en donde se desarrolló más y se introdujo el importante avance del diseño, la fabricación y el uso de partes intercambiables, creadas por Eli Whitney a principios de 1800. Antes de esta aportación era necesario en gran medida el ajuste a mano, porque no se podían fabricar dos partes exactamente iguales. Ahora se da por entendido que podemos reemplazar un tornillo roto de cierto tamaño con uno idéntico comprado años después en una ferretería local. Pronto siguieron nuevos desarrollos, cuyos resultados son incontables productos de uso común y sin los cuales hoy no podríamos imaginar nuestra vida.

Al inicio de la década de 1940 se alcanzaron hitos importantes en todos los aspectos de la manufactura. En las Figuras 1, 2, 3 se observa el avance logrado durante los últimos 100 años, y particularmente durante las últimas tres décadas con el advenimiento de la era de las computadoras, si se compara con el largo periodo transcurrido del año 4000 al año 1 a.C. Aunque los romanos tenían factorías para producir en masa artículos de vidrio, al principio los métodos eran muy primitivos y por lo general muy lentos, con mucha mano de obra en el manejo de partes y en la operación de la maquinaria. Hoy en día, con la ayuda de los sistemas de manufactura integrados por computadora, los métodos de producción han avanzado tanto que, por ejemplo, las latas de aluminio para bebidas se manufacturan a velocidades de 500 por minuto, los agujeros en las hojas metálicas se perforan a

razón de 800 por minuto y las bombillas se elaboran en cantidades de más de 2000 por minuto.¹¹

¹¹ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 4

Figura 1. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura

Periodo	Fechas	Materiales y fundición	Diversos materiales y compósitos	Formado y modelado	Unión	Herramientas, maquinado y sistemas de manufactura
Egipto: ~ 3100 a.C. a ~ 300 a. C. Grecia: ~ 1100 a. C. a ~ 146 a. C. Imperio romano: ~ 500 a. C. a 476 d. C. Edad media: ~ 476 a 1492 Renacimiento: siglo XIV al XVI	Antes de 4000 a.C.	Oro, cobre, hierro meteorico	Artículos de tierra, vidriería, fibras naturales	Martillado		Herramientas de piedra, pedernal, madera, hueso, marfil, herramientas compósitas
	4000 a 3000 a.C.	Fundición de cobre, moldes de piedra y metales, proceso a la cera perdida, plata, plomo, estaño, bronce		Estampado, joyería	Soldadura de cobre (Cu-Au, Cu-Pb, Pb-Sn)	Corindón (alúmina, esmeril)
	3000 a 2000 a.C.	Fundición y estrado de bronce y hojas de oro	Pelras de vidrio, torno de alfarero, recipientes de vidrio	Alambre mediante el corte de hojas metálicas	Remachado, soldadura de cobre	Fabricación de azadones, hachas martilladas, herramientas para herrería y carpintería
	2000 a 1000 a.C.	Hierro maleable, bronce		Estampado de monedas	Soldadura por forja de hierro y acero, pegado	Cinceles improvisados, sierras, limas, y tornos para madera
	1000 a 1 a.C.	Hierro fundido, acero fundido	Prensado y soplado de vidrio	Estrado de alambre, trabajos de orfebrería en oro y plata		Grabado de armaduras
	1 a 1000 d.C.	Zinc, acero	Vidrio veneciano	Armaduras, acuñado, forja, espadas de acero		Papel lija, sierra impulsada por molino de viento
1500 a 1600	Cañones de hierro fundido, placa de estaño	Vidrio plano fundido, vidrio de pedernal	Potencia hidráulica para trabajo de los metales, laminación de tiras para monedas		Torno de mano para madera	
1600 a 1700	Fundición de molde permanente, latón a partir de cobre y zinc metálico	Porcelana	Laminación (plomo, oro, plata), laminado de formas (plomo)		Mandrinado, torneado, mecanizado de roscas, taladro de columna	

(continúa en la siguiente página)

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 5

Figura 2. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura

Periodo	Fechas	Metales y fundición	Diversos materiales y compósitos	Formado y modelado	Unión	Herramientas, maquinado y sistemas de manufactura
Revolución Industrial: ~1750 a 1850	1700 a 1800	Hierro fundido maleable, acero de crisol (barras y varillas de hierro)		Extrusión (tubo de plomo), embutido profundo, laminación		Cepillo de mesa fija, fresado, torno copiador para cajas de fusiles, torno de torreta, fresadora universal, disco vitrificado para rectificando
	1800 a 1900	Fundición centrifuga, proceso Bessemer, aluminio electrolítico, barras de níquel, metales babbit, acero galvanizado, metalurgia de polvos, acero de hogar abierto	Vidrio para ventana de cilindro dividido, lámpara de luz, vulcanización, procesamiento del hule, poliéster, estireno, celuloide, extrusión de hule, moldeo	Martillo de vapor, laminación de acero, tubo sin costura, laminación de rieles de acero, laminado continuo, electrodeposición	Oxiacetileno; soldadura de arco, resistencia eléctrica y térmica	Torno engranado, rosadora automática, tallado de engranes con fresa madre, herramientas de acero de alta velocidad, óxido de aluminio y carburo de silicio (sintético)
Primera Guerra Mundial	1900 a 1920		Fabricación automática de botellas, baquelita, vidrio de borosilicato	Rolado de tubos, extrusión en caliente		
	1920 a 1940	Fundición a presión	Desarrollo de plásticos, fundición, moldeo, cloruro de polivinilo, acetato de celulosa, polietileno, fibras de vidrio	Alambre de tungsteno a partir de polvo metálico	Electrodos recubiertos	Carburo de tungsteno, producción en masa, máquinas de transferencia
Segunda Guerra Mundial	1940 a 1950	Proceso a la cera perdida para partes de ingeniería	Acrílicos, hule sintético, epóxicos, vidrio fotosensible	Extrusión (acero), estampado, metales en polvo para partes para ingeniería	Soldadura de arco sumergido	Recubrimientos de conversión de fosfato, control de calidad total
	1950 a 1960	Molde cerámico, hierro nodular, semiconductores, fundición continua	Acrlonitrilo butadieno estireno, hule fluorocarbonos, poliuretano, vidrio flotado, vidrio templado, cerámicos vidriados	Extrusión en frío (acero), formado explosivo, procesamiento termomecánico	Soldadura de arco de metal y gas, de tungsteno y gas y de electroescoria; soldadura por explosión	Maquinado eléctrico y químico, control automático

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 6

Figura 3. Desarrollo histórico de materiales y procesos de manufactura

Periodo	Fechas	Materiales y fundición	Diversos materiales y compósitos	Formado y modelado	Unión	Herramientas, maquinado y sistemas de manufactura
Era espacial	1960 a 1970	Fundición por compresión, álabes para turbina de monocristales	Acerales, polycarbonato, formado en frío de plásticos, plásticos reforzados, devanado de filamentos	Hidroformado, extrusión hidrostática, electroformado	Soldadura de arco de plasma y de haz de electrones, unión por adhesivos	Carburo de titanio, diamante sintético, control numérico, microcircuito integrado
	1970 a 1990	Grafito compactado, fundición al vacío, arena aglutinada orgánicamente, automatización del moldeo y colado, solidificación rápida, compósitos de matriz metálica, trabajo de metales semisólidos, metales amorfos, aleaciones con memoria de forma (materiales inteligentes), simulación en computadoras	Adhesivos, materiales compósitos, semiconductores, fibras ópticas, cerámicos estructurales, compósitos de matriz cerámica, plásticos biodegradables, polímeros eléctricamente conductores	Forjado de precisión, forjado isotérmico, formado superplástico, matrices fabricadas mediante diseño y manufactura asistida por computadora, forjado y formado de forma neta, simulación en computadora	Rayo láser, unión por difusión (también combinada con formado superplástico), soldadura blanda con montura superficial	Nitruro de boro cúbico, herramientas recubiertas, torneado de diamante, maquinado de ultra-precisión, manufactura integrada por computadora, robots industriales, centros de maquinado y torneado, sistemas de manufactura flexible, tecnología de detectores, inspección automatizada, sistemas expertos, simulación y optimización en computadoras
Era de la información	1990 a 2000	Reofundición, diseño de moldes y matrices asistido por computadora, montaje rápido de herramientas	Materiales de nanofase, espumas metálicas, recubrimientos avanzados, superconductores de alta temperatura, cerámicos maquinables, carbono como diamante	Fabricación rápida de prototipos, montaje rápido de herramientas, fluidos amigables para el medio ambiente para el trabajo de los metales	Soldadura de agitación por fricción, sueldas sin plomo, esbozos de hoja metálica (especiales) soldadas a tope con láser, adhesivos eléctricamente conductores	Micro y nanofabricación, LIGA (acrónimo alemán para un proceso que comprende litografía, electrodeposición y moldeo), ataque en seco, transmisiones de motores lineales, redes neuronales artificiales, seis sigma

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 6

4.2. Marco conceptual

En este capítulo se pueden apreciar todos los conceptos de manufactura.

4.2.1 *Manufactura*

La palabra manufactura se deriva del latín manu factus, que significa “hecho a mano”, y apareció por primera vez en 1567. La palabra manufacturar apareció en 1683. La palabra producto significa “algo que se produce” y apareció, junto con la palabra producción, en algún momento durante el siglo XV. Los vocablos “manufactura” y “producción” con frecuencia se utilizan de manera indistinta.

Debido a que suelen pasar por varios procesos en los que las materias primas se convierten en productos útiles, los artículos manufacturados adquieren un valor, definido como equivalente monetario o precio de venta.¹²

La manufactura puede fabricar productos discretos, es decir, partes individuales o productos continuos. Los clavos, engranes, bolas para rodamientos, latas para bebidas y mono bloques para motores son ejemplos de partes discretas, aunque se producen en altos volúmenes y capacidades de producción.¹³

- *El proceso de diseño del producto y la ingeniería concurrente*

El diseño del producto es una actividad crítica, porque se estima que 70% u 80% del costo de desarrollo y manufactura de un producto está determinado por las decisiones tomadas en las etapas iniciales del diseño. Este proceso comienza con el desarrollo de un concepto para un producto original. En esta etapa es altamente deseable, e incluso fundamental, un método innovador de diseño, para que el producto sea exitoso en el mercado y se obtengan ahorros importantes en costos de materiales y de producción.

Primero, el diseño de un producto requiere un entendimiento completo de sus funciones y de su desempeño esperado. El mercado de un producto, así como los usos previstos para el mismo, deben definirse claramente con la ayuda de analistas de mercado y personal de ventas, que aportan a la compañía información valiosa y oportuna sobre el ramo. El producto puede ser nuevo o una versión modificada o más reciente de un artículo existente; por ejemplo, obsérvese cómo han cambiado a través de los años el diseño y el estilo de los teléfonos celulares, las calculadoras, los aparatos domésticos, los automóviles y las aeronaves.

¹² Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 2

¹³ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 3

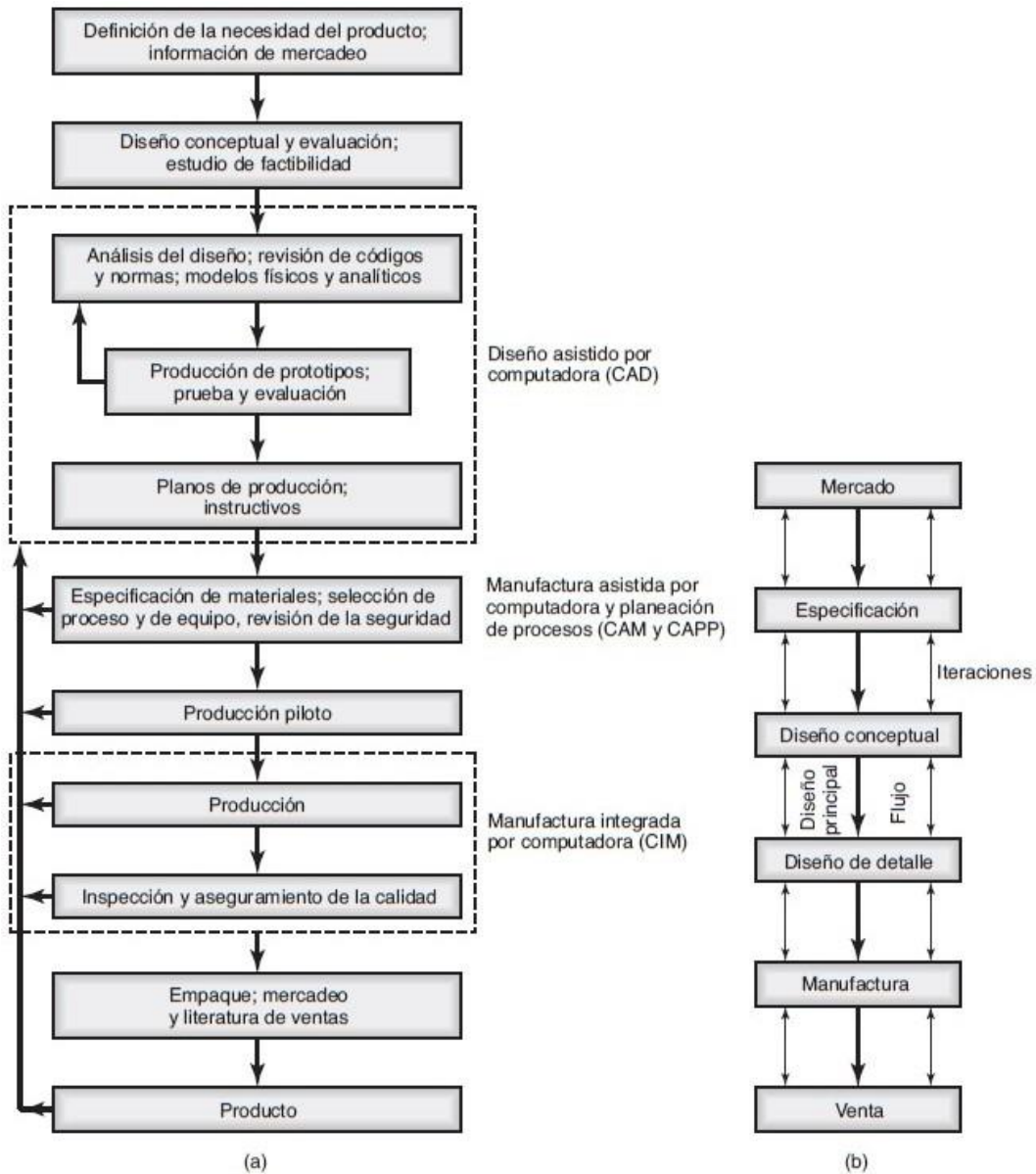
Las actividades de diseño y manufactura suelen efectuarse de manera consecutiva, una metodología que en principio puede parecer lógica y directa, pero que en la práctica desperdicia recursos de modo extremo. En teoría, un producto puede pasar de un departamento de una organización a otro, puede producirse y después colocarse directamente en el mercado, pero es común que haya dificultades. Por ejemplo, un ingeniero de manufactura podría desear que se conificara la brida de una parte para mejorar su capacidad de fundición, o decidir que es preferible una aleación diferente. Tales cambios obligarían a repetir la etapa de análisis del diseño, a fin de asegurar que el producto funcione satisfactoriamente. Estas iteraciones, como se muestra en la Figura 4, desperdician recursos y, lo más importante, desperdician tiempo.

Impulsada por los sectores industriales y electrónicos, se desarrolló una gran necesidad de proveer productos al mercado lo más rápidamente posible. El razonamiento era que los productos introducidos antes gozaban de un mayor porcentaje del mercado y, en consecuencia, de mayores ganancias, así como de una vida más larga antes de la obsolescencia.

Por estas razones apareció la ingeniería concurrente, también denominada ingeniería simultánea, que llevó al método de desarrollo de productos mostrado en la Figura 4.¹⁴

¹⁴ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 11

Figura 4. Pasos comprendidos en el diseño y la manufactura de un producto



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 12

(a) Gráfica que muestra los diversos pasos comprendidos en el diseño y la manufactura de un producto. Según la complejidad del artículo y el tipo de materiales utilizados, el tiempo que media entre el concepto original y el mercadeo de un producto puede variar desde unos cuantos meses hasta muchos años.

(b) Gráfica que muestra el flujo general de un producto en la ingeniería concurrente, desde el análisis de mercado hasta la venta del producto.

- Selección de materiales

Actualmente existe una creciente variedad de materiales, cada uno con sus características, aplicaciones, ventajas, limitaciones y costos. Los siguientes son los tipos generales de materiales utilizados en manufactura, ya sea individualmente o en combinación con otros materiales:

- Metales ferrosos: aceros al carbono, aleados, inoxidable y para herramientas y matrices.
- Metales no ferrosos: aluminio, magnesio, cobre, níquel, titanio, súper aleaciones, metales refractarios, berilio, zirconio, aleaciones de bajo punto de fusión y metales preciosos.
- Plásticos (polímeros): termoplásticos, termofijos y elastómero.
- Cerámicos, vidrios, cerámicos vidriados, grafito, diamante y materiales como el diamante.
- Materiales compósitos: plásticos reforzados, compósitos de matriz metálica y de matriz cerámica, conocidos también como materiales de ingeniería.
- Nanomateriales, aleaciones con memoria de forma, aleaciones amorfas, semiconductores, superconductores y otros materiales avanzados con propiedades únicas.

El desarrollo de nuevos materiales vuelve aún más demandante la selección de los apropiados. Las estructuras aeroespaciales, las aplicaciones automotrices, el equipo militar y los artículos deportivos se han colocado a la vanguardia en el uso de materiales nuevos. A menudo surgen nuevas tendencias en el uso de materiales en todos los productos, impulsadas sobre todo por razones económicas, aunque también por otras consideraciones que se describirán a continuación.¹⁵

4.2.2. Propiedades de los materiales

Al seleccionar materiales para un producto, primero se consideran sus propiedades mecánicas: resistencia, tenacidad, ductilidad, dureza, elasticidad, fatiga y termofluencia. Las propiedades mecánicas especificadas para un producto y sus componentes deben, desde luego, ser apropiadas para las condiciones en que se espera que funcionen. Después se consideran las propiedades físicas de los materiales: densidad, calor específico, dilatación y conductividad térmica, punto de fusión, propiedades eléctricas y magnéticas. Una combinación de propiedades

¹⁵ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 16

mecánicas y físicas son las proporciones de resistencia a peso y rigidez a peso de los materiales, que son particularmente importantes para las aplicaciones aeroespaciales y automotrices, así como para artículos deportivos. Por ejemplo, el aluminio, el titanio y los plásticos reforzados tienen generalmente mayores proporciones que los aceros y los hierros fundidos.

Las propiedades químicas también desempeñan un papel importante, tanto en ambientes hostiles como en los normales. La oxidación, corrosión, degradación general de las propiedades, toxicidad e inflamabilidad de los materiales son factores importantes que se deben considerar. Por ejemplo, en algunos accidentes de aerolíneas comerciales, los humos tóxicos han provocado muchas muertes al quemarse materiales no metálicos en la cabina de la aeronave.

Las propiedades de manufactura de los materiales determinan si se pueden fundir, formar, maquinar, unir y tratar térmicamente con relativa facilidad (Figura 5). El método o métodos utilizados para procesar materiales en las formas finales deseadas pueden afectar el desempeño, la vida de servicio y el costo del producto.¹⁶

Figura 5. Características generales de manufactura de diversas aleaciones

Aleación	Fundibilidad	Soldabilidad	Maquinabilidad
Aluminio	E	R	E-B
Cobre	B-R	R	B-R
Hierro fundido gris	E	D	B
Hierro fundido blanco	B	MD	MD
Níquel	R	R	R
Aceros	R	E	R
Zinc	E	D	E

Nota: E, excelente; B, buena; R, regular; D, difícil; MD, muy deficiente

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 17

4.2.3. Selección de procesos de manufactura

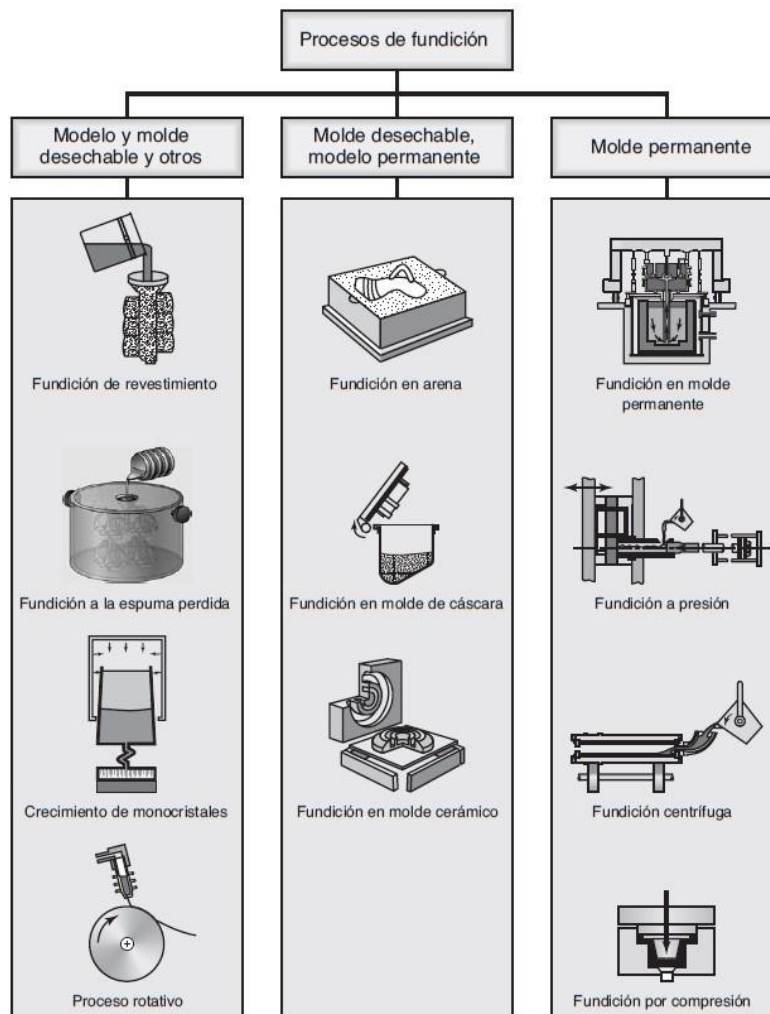
La producción de partes exige una extensa variedad de procesos de manufactura en continua expansión, y por lo general hay más de un método de manufactura para una parte a partir de un material dado. Las categorías de dichos métodos son las siguientes:

- Fundición: De molde desechable y de molde permanente (Figura 6).

¹⁶ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 17

- Formado y moldeado: Laminado, forjado, extrusión, estirado o trefilado, formado de lámina, metalurgia de polvos y moldeo (Figura 7, Figura 8, Figura 9).
- Maquinado: Torneado, mandrinado, taladrado, fresado, cepillado, escariado y rectificad, maquinado ultrasónico, maquinado químico, eléctrico y electroquímico; y maquinado por rayo de alta energía esta categoría también incluye el micromaquinado, para producir partes de ultraprecisión (Figura 10).
- Unión: Soldado, soldadura blanda, soldadura fuerte, unión por difusión, unión por adhesivos y unión mecánica (Figura 11).¹⁷

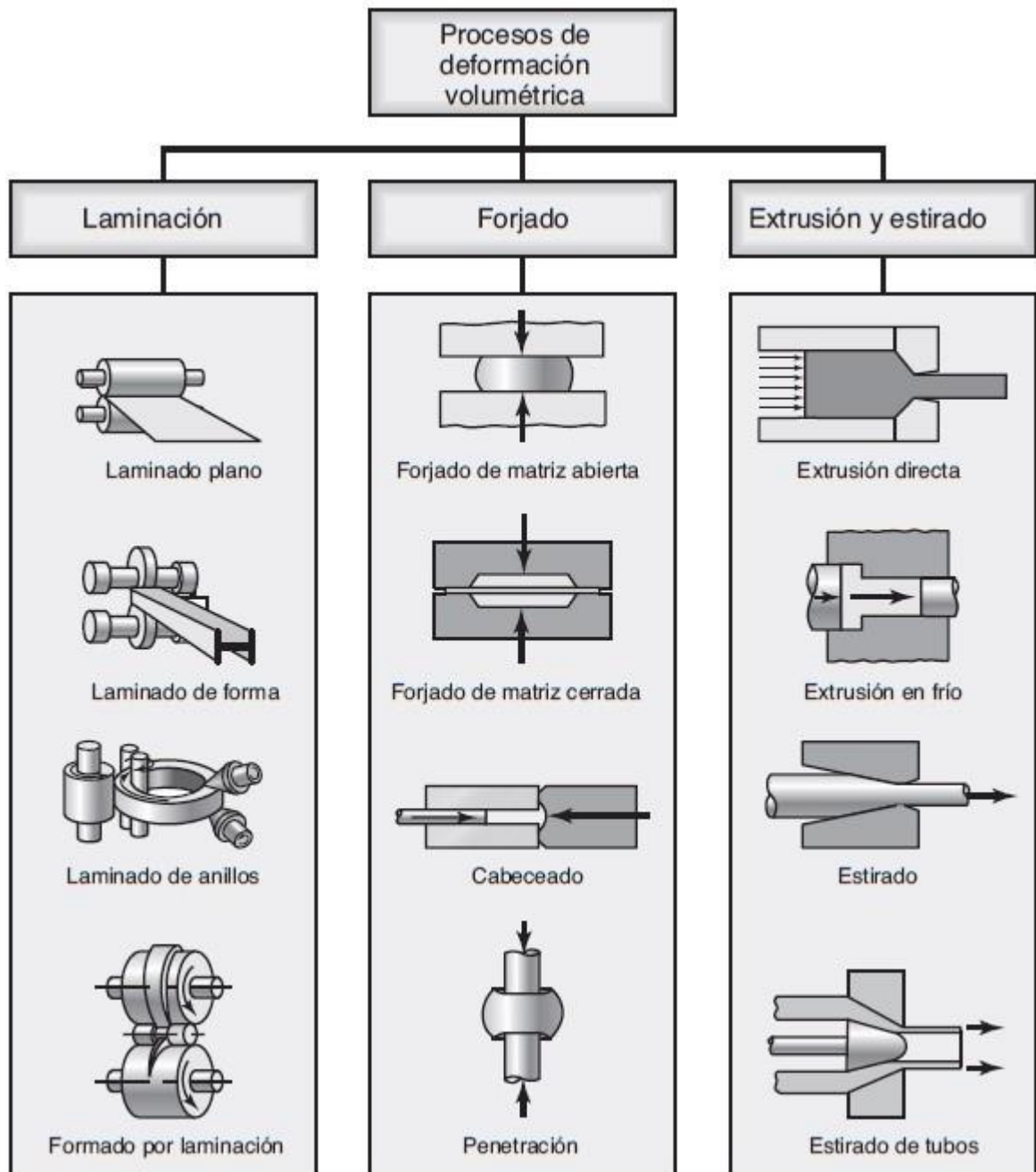
Figura 6. Esquemas de diversos procesos de fundición



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 20

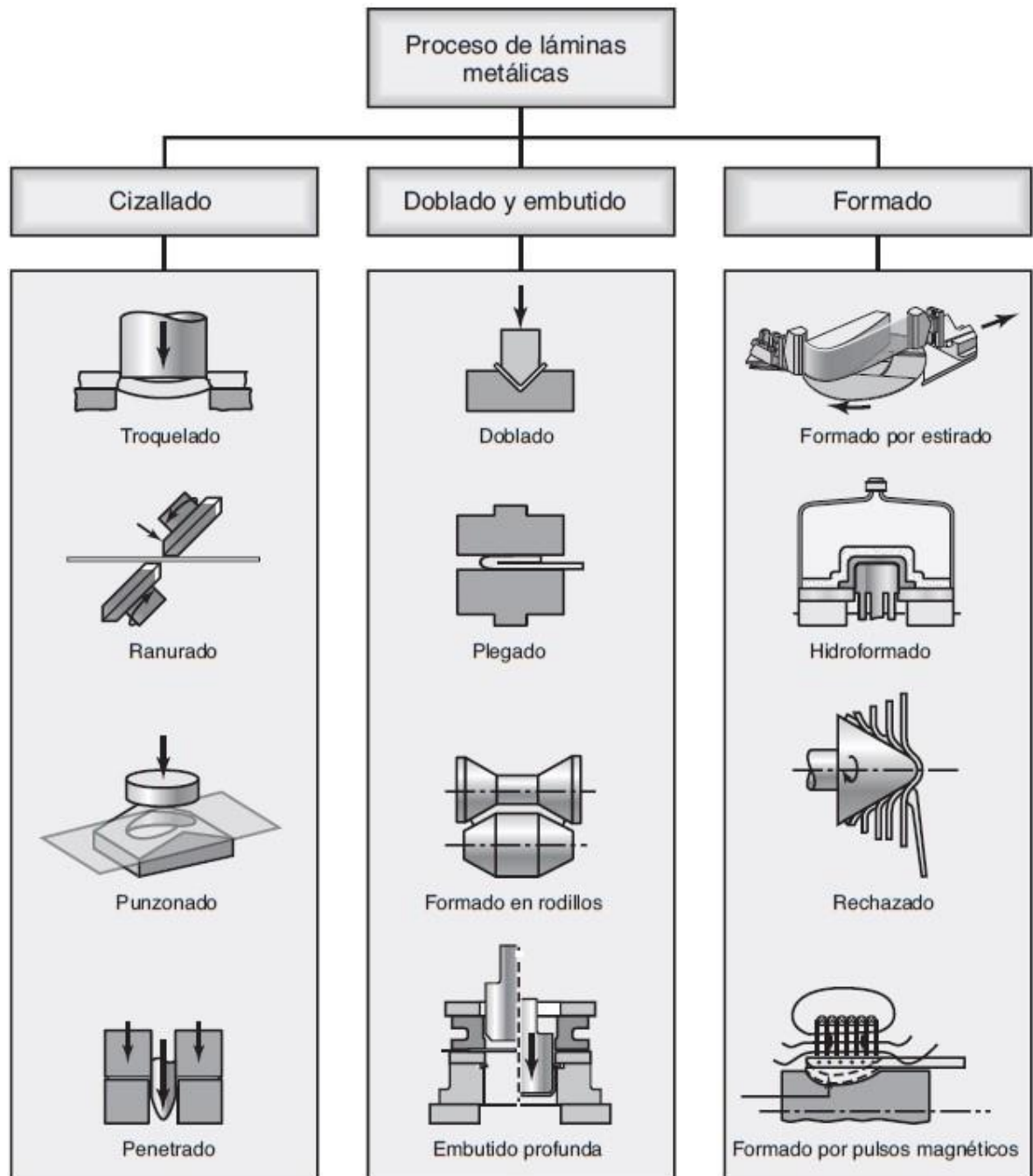
¹⁷ Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 19

Figura 7. Esquemas de diversos procesos de deformación volumétrica



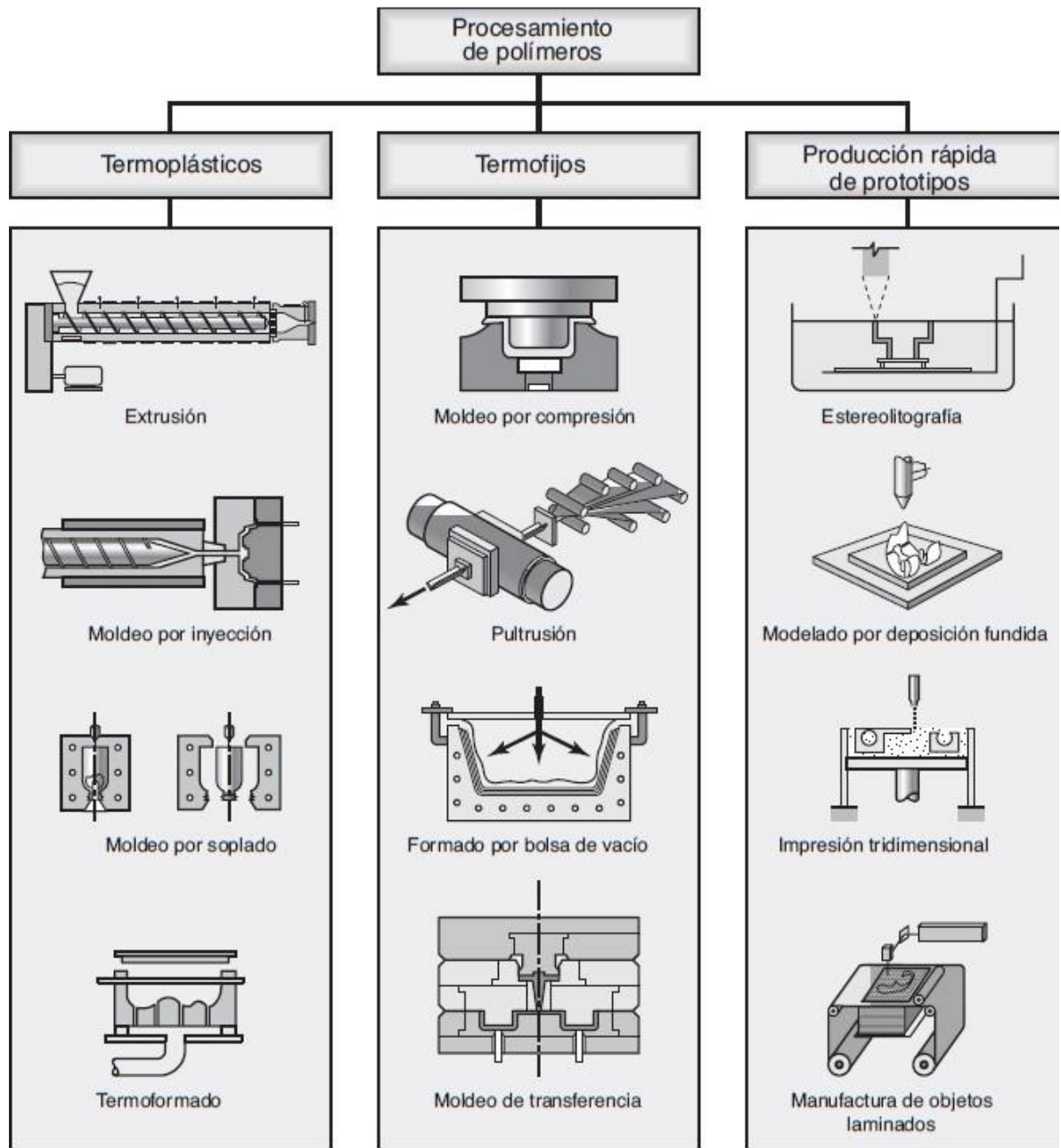
Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 21

Figura 8. Esquemas de diversos procesos de formado de hojas metálicas



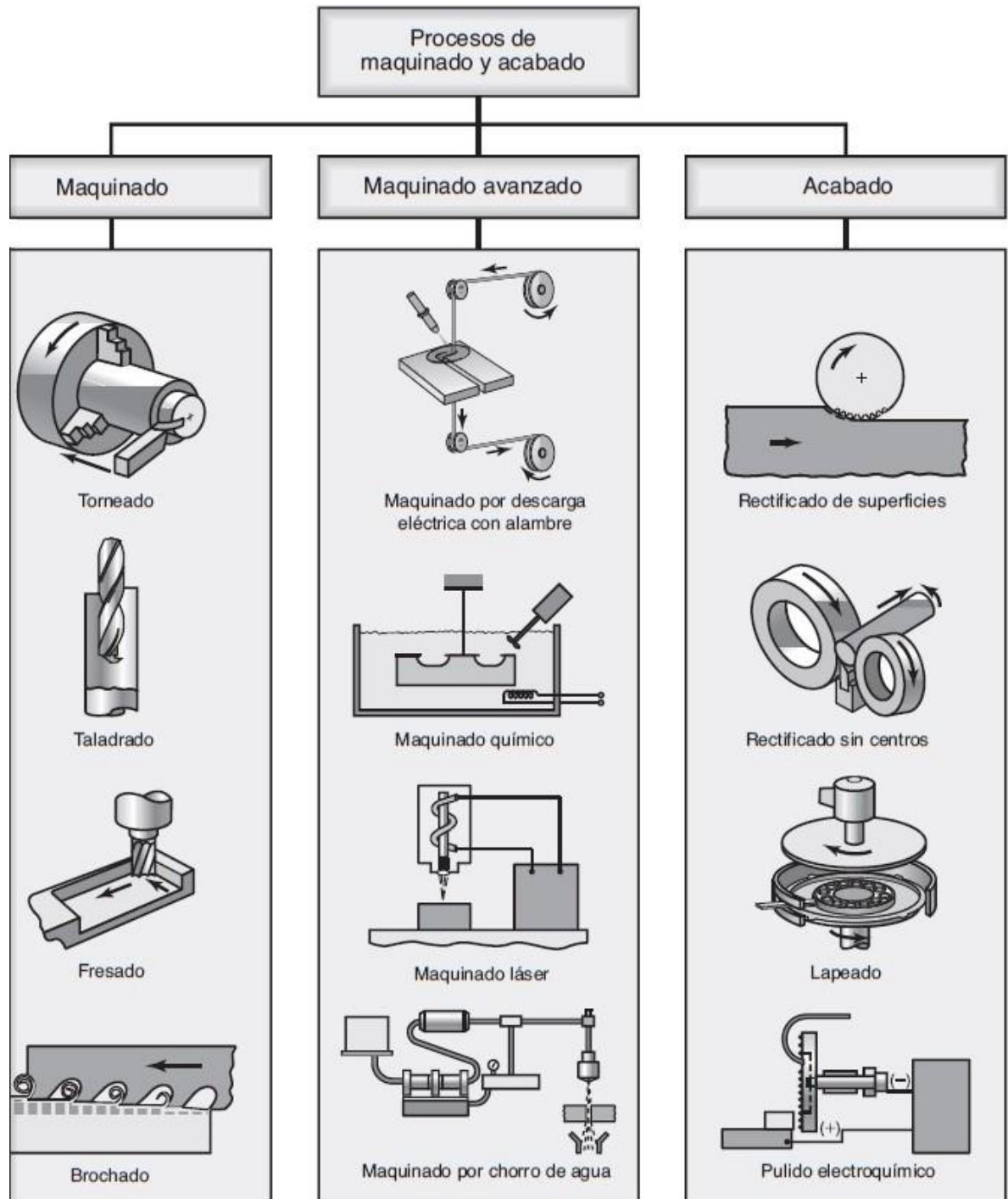
Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 22

Figura 9. Esquemas de diversos métodos de procesamiento de polímeros



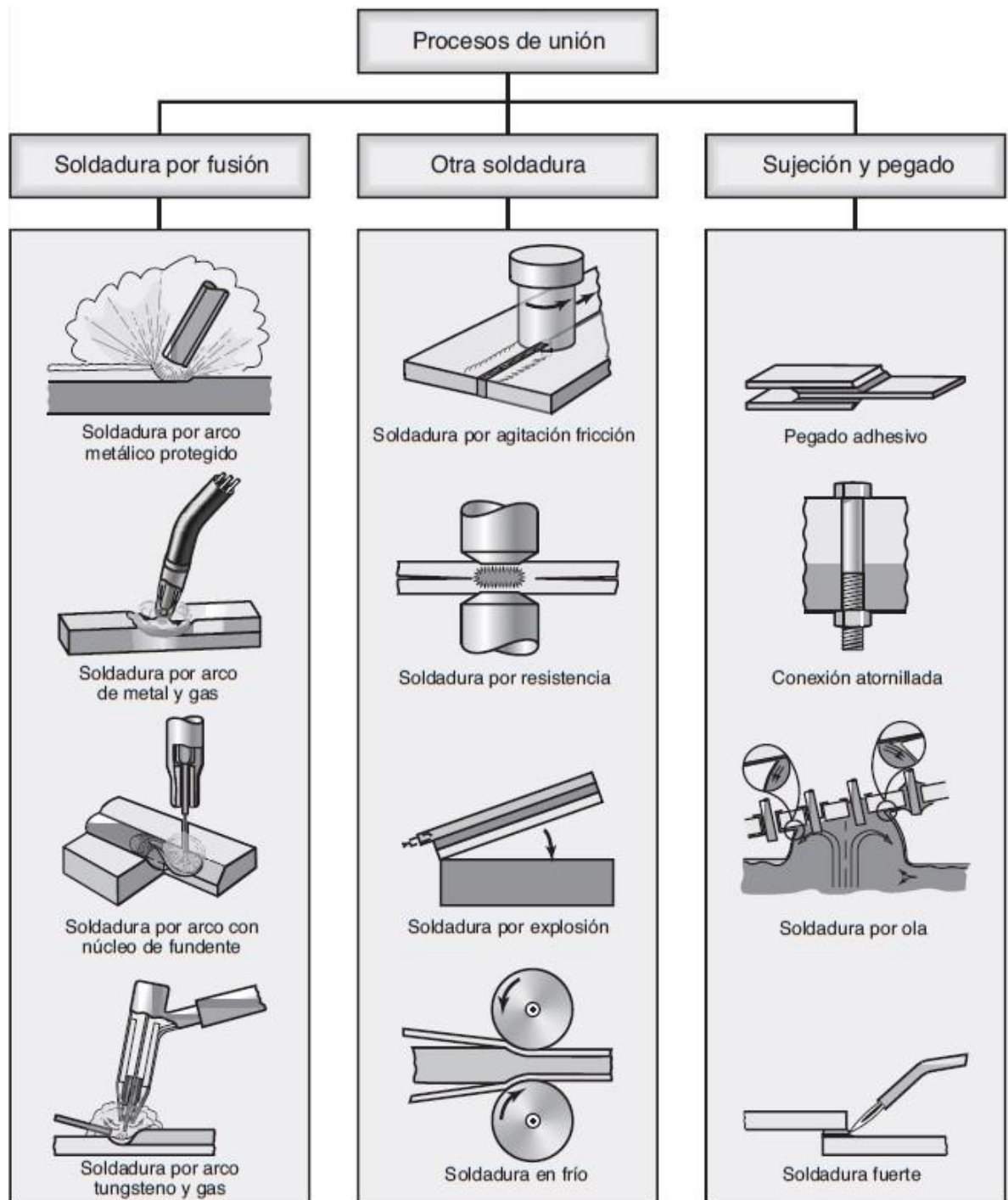
Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 23

Figura 10. Esquemas de diversos procesos de maquinado y acabado



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 24

Figura 11. Esquemas de diversos procesos de unión



Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. Kalpakjian • S. R. Schmid Quinta edición Página 24

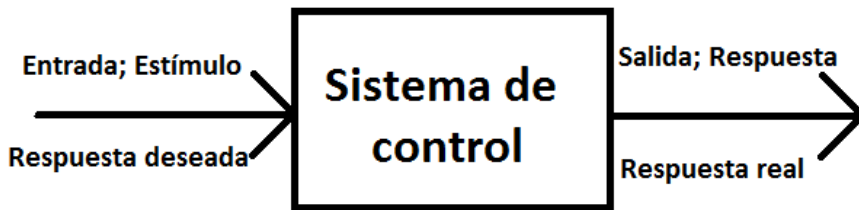
4.2.4. Automatización

En este capítulo se pueden apreciar todos los conceptos de automatización.

4.2.4.1. Sistema de control

Un sistema de control está formado por *subsistemas* y *procesos (o plantas)* unidos con el fin de controlar las salidas de los procesos. Por ejemplo, un horno produce calor como resultado del flujo de combustible. En este proceso, los subsistemas, llamados *válvulas de combustible* y *actuadores de válvulas de combustible*, se usan para regular la temperatura de una habitación al controlar la salida del calor del horno. Otros *subsistemas*, por ejemplo, los termostatos que funcionan como sistemas detectores, miden la temperatura de la habitación. EN su forma más sencilla, un sistema de control produce una salida o respuesta para una entrada o estímulo dado, como se ilustra en la figura 12.¹⁸

Figura 12. Diagrama de un sistema de control



Fuente: Sistemas de control para ingeniería Norman S. Nise • Editorial Continental Tercera edición Página 2

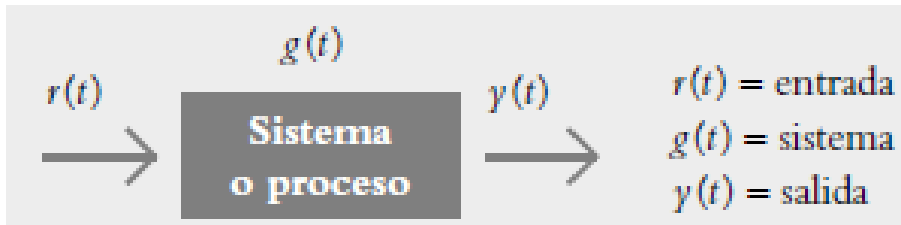
4.2.4.2. Sistema de control Automático

Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlar se por sí mismo. Un sistema o componente del sistema susceptible de ser controlado, al cual se le aplica una señal $r(t)$ a manera de entrada para obtener una respuesta o salida $y(t)$, puede representarse mediante bloques (figura 13).¹⁹

¹⁸ Sistemas de control para ingeniería Norman S. Nise • Editorial Continental Tercera edición Página 2

¹⁹ Introducción a los sistemas de control Ricardo H. Gaviño • Pearson Primera edición Página 2

Figura 13.. La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso

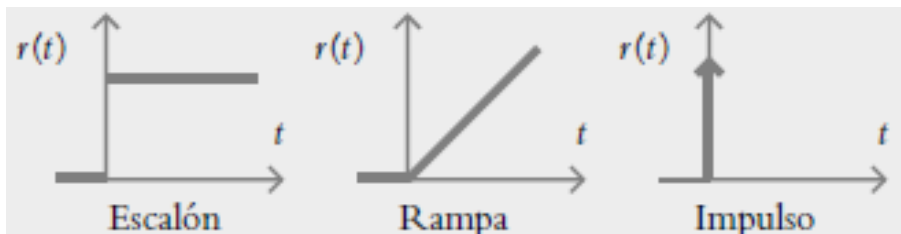


Fuente: Introducción a los sistemas de control Ricardo H. Gaviño • Pearson Primera edición Página 2

4.2.4.3. Vínculo Entrada-Salida

El *vínculo entrada-salida* es una relación de causa y efecto con el sistema, por lo que el proceso por controlar (también denominado planta) relaciona la salida con la entrada. Las entradas típicas aplicadas a los sistemas de control son: escalón, rampa e impulso, según se muestra en la figura 14.²⁰

Figura 14. Distintos tipos de entradas aplicadas a los sistemas de control



Fuente: Introducción a los sistemas de control Ricardo H. Gaviño • Pearson Primera edición Página 2

- *Entradas típicas aplicadas a los sistemas de control*

La *entrada escalón* indica un comportamiento o una referencia constantes introducidos al sistema, mientras que la *entrada rampa* supone una referencia con variación continua en el tiempo, y la *entrada impulso* se caracteriza por ser una señal de prueba con magnitud muy grande y duración muy corta. La función *respuesta impulso* o *función de transferencia* es la representación matemática del sistema. Básicamente, el problema de control consiste en seleccionar y ajustar un conjunto específico de elementos tal que, al interconectarse, el sistema resultante deberá comportarse de una manera específica.²¹

²⁰ Introducción a los sistemas de control Ricardo H. Gaviño • Pearson Primera edición Página 2

²¹ Introducción a los sistemas de control Ricardo H. Gaviño • Pearson Primera edición Página 2

4.2.4.4. Variable controlada y señal de control o variable manipulada

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.²²

4.2.4.5. Planta

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. Una planta es cualquier objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).²³

4.2.4.6. Procesos

El Diccionario Merriam-Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinado. En este libro se llamará proceso a cualquier operación que se va a controlar.²⁴

- *Automatización de procesos*

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales.

²² Ingeniería de control moderna Katsuhiko Ogata • Pearson Quinta edición Página 3

²³ Ingeniería de control moderna Katsuhiko Ogata • Pearson Quinta edición Página 3

²⁴ Ingeniería de control moderna Katsuhiko Ogata • Pearson Quinta edición Página 3

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.²⁵

4.2.5. Controlador Lógico Programable - ¿Qué es un PLC?

Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.²⁶

4.2.5.1. Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía

²⁵ DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

²⁶ CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

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

4.2.5.2. Ventajas

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos, debido a que no es necesario dibujar previamente el esquema de contactos, es preciso simplificar las ecuaciones lógicas, ya que por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio del tablero donde se instala el autómatas programable.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómatas.

- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómeta sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

4.2.5.3. Inconvenientes

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. Esta capacitación puede ser tomada en distintos cursos, inclusive en universidades.
- El costo inicial.²⁷

4.2.5.4. Estructura de un PLC

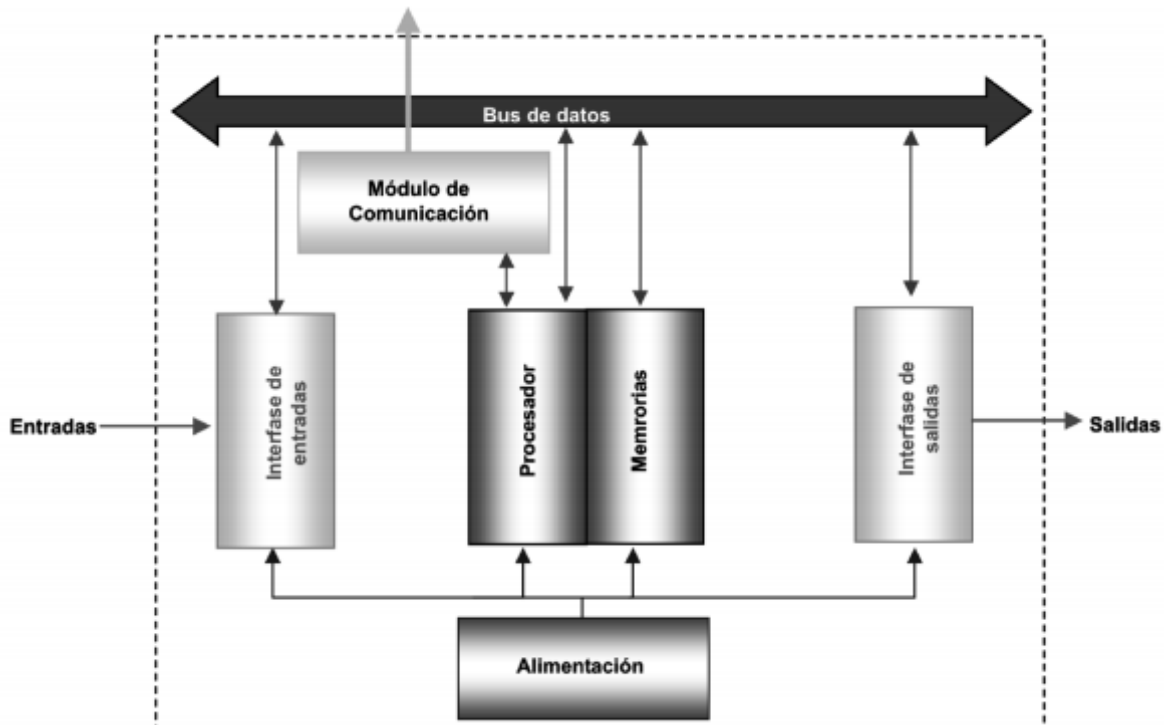
La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Las interfases de entradas.
- Las interfases de salidas.

Esta estructura se puede observar en la figura 15:

²⁷CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

Figura 15. Estructura de un PLC



Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

4.2.6. Sensores

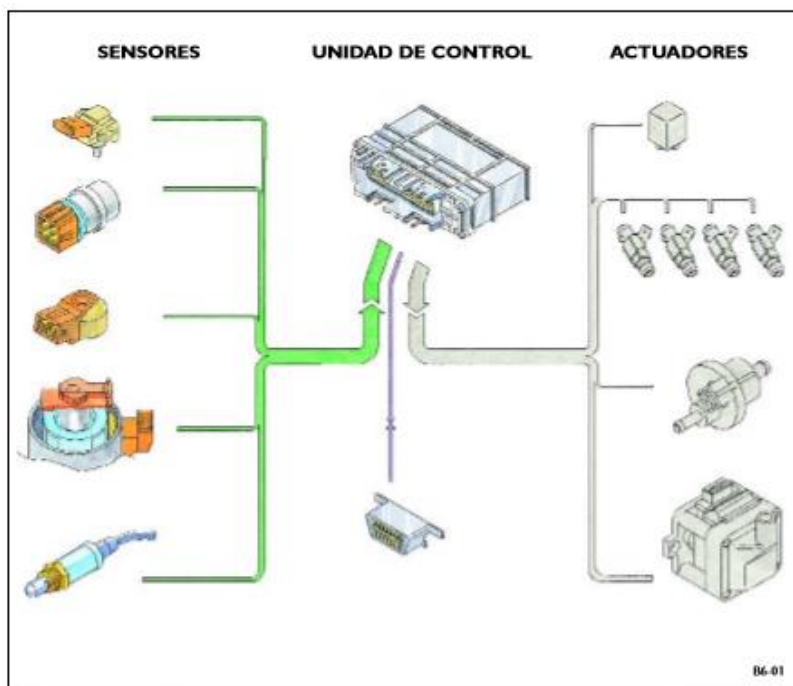
Según lo define la Organización de Servicio - SEAT, S.A. En su libro *Gestiones Electrónicas. Sensores y Actuadores* dice: “En un sistema electrónico, el sensor es el elemento dispuesto expresamente para obtener información. La palabra sensor es el nombre popular con el que se conocen los “transductores”. Se fabrican gran variedad de transductores, capaces de convertir cualquier parámetro físico, químico o biológico en una magnitud eléctrica”²⁸.

Otra definición que se puede encontrar en el libro de Benjamin C. Kuo titulado *Sistemas de control automático* también se puede definir como sensor o codificador como “componentes importantes empleados para supervisar el desempeño y para la realimentación en sistemas de control”.²⁹

²⁸ *Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores* Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 4

²⁹ *Sistemas de control automático* Benjamin C. Kuo. •Patience Hall. Séptima edición Página 160

Figura 16. Interpretación de los sensores en un sistema de control



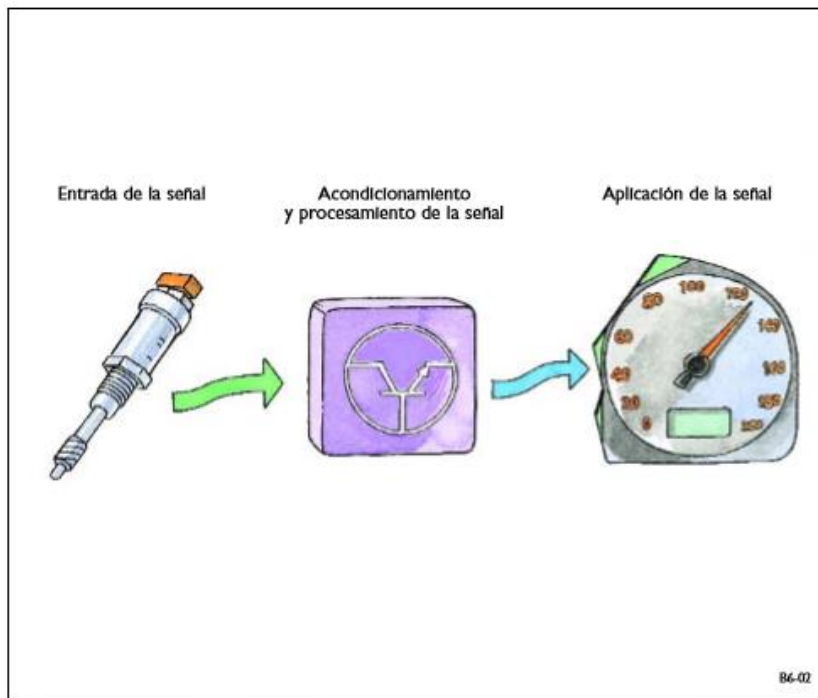
Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 4

4.2.6.1. Clasificación de los sensores

La respuesta que proporciona un sensor depende de la magnitud física que puede ser detectada y “traducida” en una variación eléctrica y del principio físico en que se base. Existen numerosos sensores que miden parámetros muy diversos. Generalmente los sensores van asociados a alguna Unidad de Control Electrónico, donde se produce el acondicionamiento de la señal.³⁰

³⁰ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 5

Figura 17. Sensor, unidad de control y actuador de un velocímetro



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 5

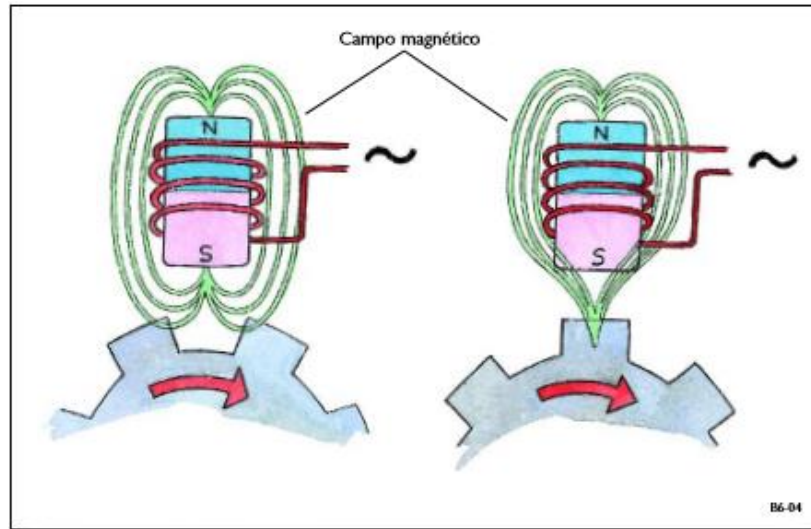
4.2.6.2. Sensores por magnetismo

El fenómeno electromagnético explica la relación que existe entre el magnetismo y la electricidad. Cuando gira la rueda dentada se produce una distorsión del flujo magnético y se induce en la bobina una corriente alterna senoidal. Un cable arrollado a un soporte, formando una bobina de espiras, se comporta como un imán cuando circula corriente eléctrica por ella: alrededor de las espiras de la bobina se forma un campo magnético similar al creado por un imán.

Este fenómeno es reversible ya que, si una bobina es sometida a la variación de un campo magnético, se produce en ella una corriente eléctrica por efecto de la inducción. La corriente así generada es de tipo alterna.³¹

³¹ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 6

Figura 18. Variación en el flujo magnético de un sensor por movimiento de una rueda dentada

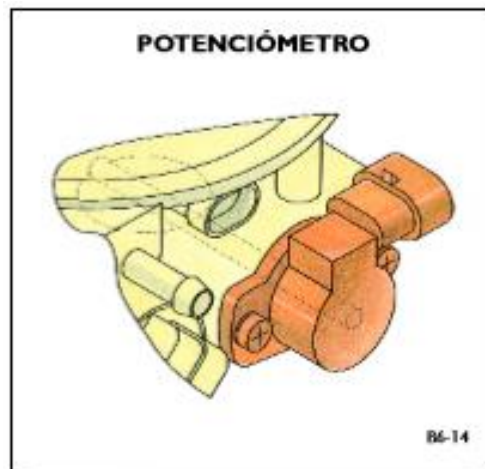


Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 6.

4.2.6.3. Sensores por conductividad eléctrica

La conductividad define la facilidad con que circula la corriente por una sustancia cuando se halla sometida a determinadas condiciones físicas. La conductividad de un material puede originarse por un cambio en su estructura atómica, en la cual se permite que los electrones puedan circular libremente o bien facilitar el paso de iones de otras sustancias.³²

Figura 19. Potenciómetro, sensor por conductividad eléctrica mecánico



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 11.

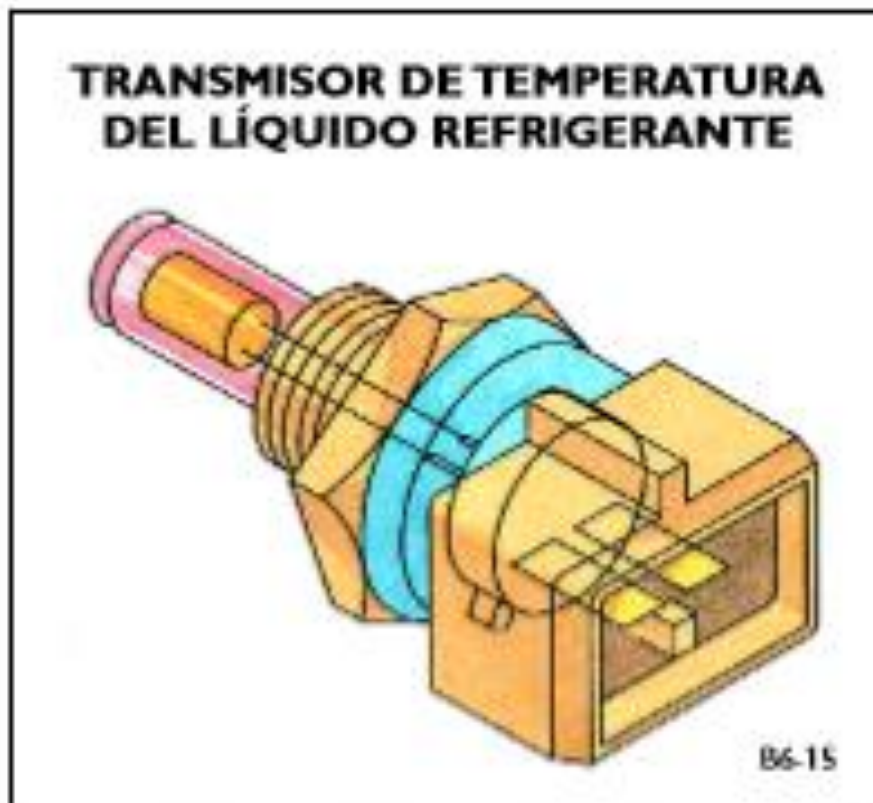
³² Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 10

4.2.6.4. Sensores termoeléctricos

Los metales, así como algunos otros compuestos, presentan una clara sensibilidad a los cambios de temperatura. El aumento de temperatura dilata los cuerpos y, en el caso de los metales, modifica su resistencia eléctrica. Esta característica es el fundamento de las termorresistencias: sensores cuya variación de resistencia guarda proporción con la temperatura a la que están sometidas. Algunos compuestos se fabrican especialmente para conseguir un coeficiente de temperatura negativo o positivo, dando origen a las resistencias tipo PTC o NTC.

Un caso particular de termorresistencia, muy precisa y de respuesta lineal, es la que utiliza como elemento sensor el platino puro que posee una resistencia de 100Ω a 0°C .³³

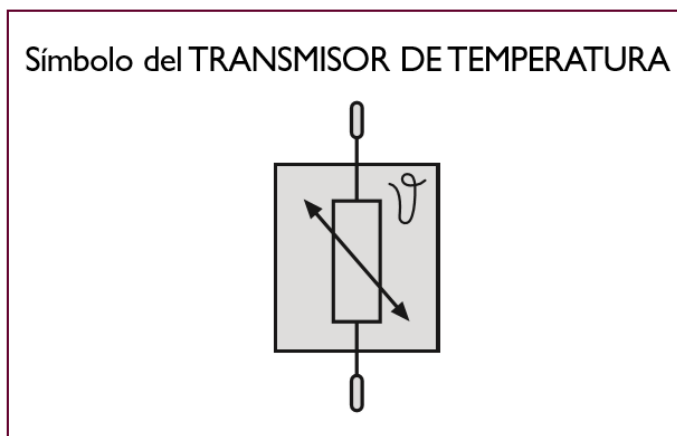
Figura 20. Transmisor de temperatura del líquido refrigerante de un carro



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 12.

³³ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 12

Figura 21. Símbolo del transmisor de temperatura

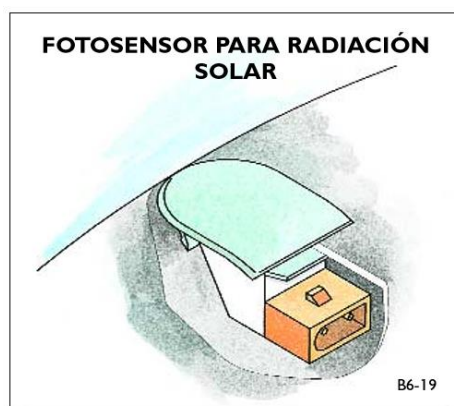


Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 12.

4.2.6.5. Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos abarcan a varios tipos de elementos que son sensibles a diferentes formas de radiación luminosa: visible, infrarroja, ultravioleta, etc. Hay sensores que transforman la energía luminosa que reciben en energía eléctrica, como las células solares, cuyo funcionamiento se basa en el hecho de que cuando incide luz sobre un material semiconductor, algunos electrones reciben la energía suficiente para escapar de la órbita que ocupaban en el átomo, transformándose en electrones libres capaces de crear una corriente eléctrica. Hay otros sensores que reaccionan de modo diferente a la exposición luminosa, ya que se produce una disminución de su resistencia eléctrica, como es el caso de las fotorresistencias.³⁴

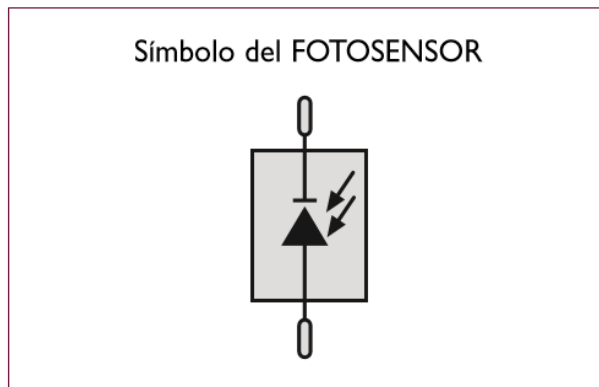
Figura 22. Fotosensor para radiación solar



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 14.

³⁴ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L.
Primera edición Página 14

Figura 23. Símbolo del fotosensor

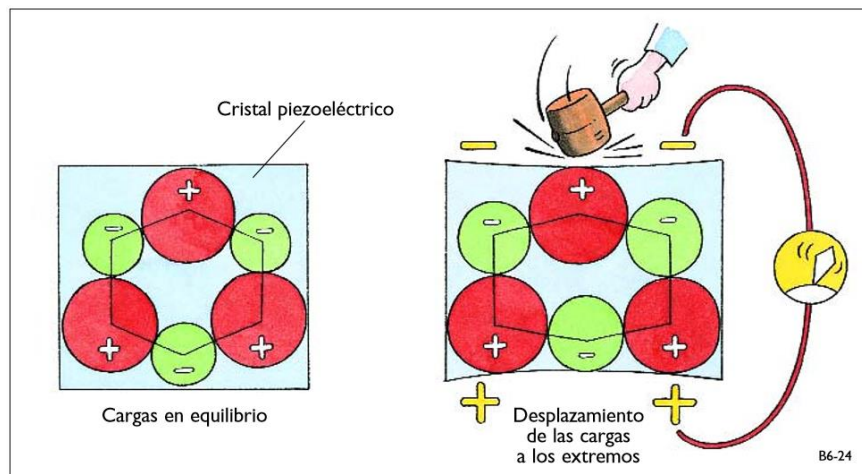


Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 14.

4.2.6.6. Sensores piezoeléctricos

El efecto piezoeléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de una fuerza. Según el material empleado, el fenómeno puede generar una pequeña tensión o variar su resistencia eléctrica. Determinados cristales naturales (cuarzo) o sintéticos tienen una disposición atómica tal que cuando son sometidos a una fuerza de compresión, su estructura se deforma de tal modo que las cargas eléctricas (electrones y protones) se desplazan en sentido opuesto, perdiendo su equilibrio natural, lo que hace surgir una diferencia de tensión entre una cara y otra. El sensor piezoeléctrico así obtenido es de tipo activo y permite el desarrollo de dispositivos capaces de medir fuerzas de compresión, vibración y aceleración.³⁵

Figura 24. Estructura interna de un cristal piezoeléctrico.



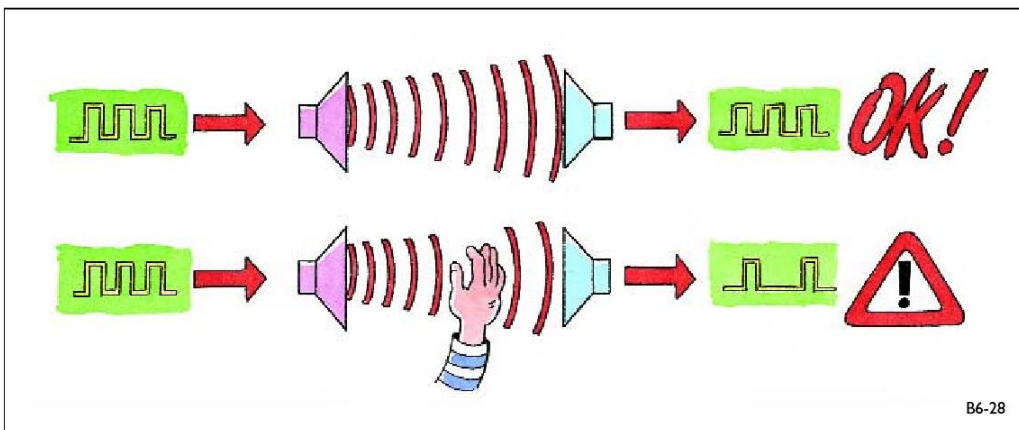
Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 16.

³⁵ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 16

4.2.6.7. Sensores por ultrasonido y radiofrecuencia

Los ultrasonidos se definen como los sonidos cuya frecuencia de vibración es superior al límite perceptible por el oído humano. Se propagan por el aire y su frecuencia puede modificarse al encontrar o rebotar en un objeto. Para generar ultrasonidos se utiliza un transmisor, similar a un pequeño altavoz cerámico, que resuena a una elevada frecuencia (por encima de los 40 kHz) y cuando el receptor, que es parecido a un micrófono, capta la vibración, emite señales eléctricas que pueden ser detectadas electrónicamente.³⁶

Figura 25. Funcionamiento de un sensor volumétrico por ultrasonido



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 18.

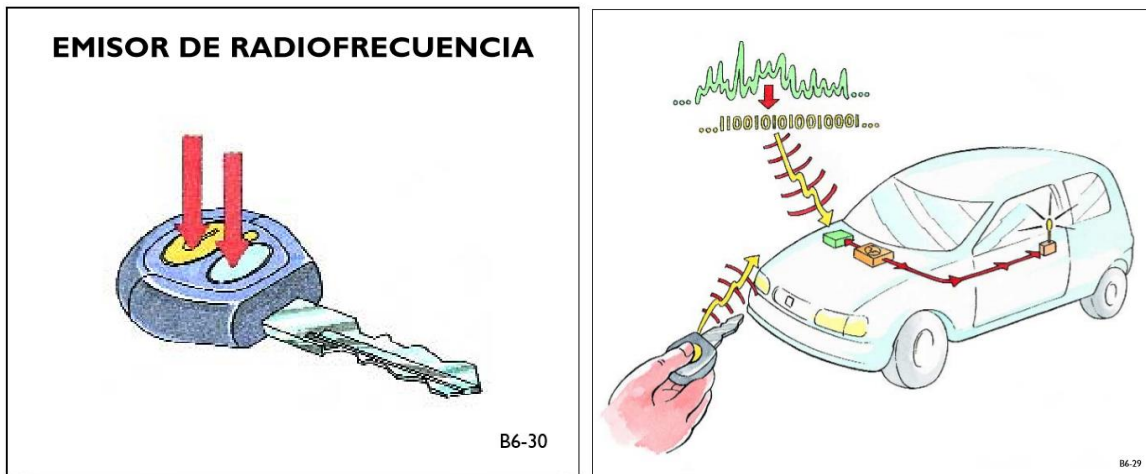
4.2.6.8. Fundamentos sobre radiofrecuencia

La transmisión y recepción vía radio de información se denomina radiofrecuencia, englobando esta definición la comunicación mediante ondas radioeléctricas emitidas al espacio y recibidas por un receptor. Las ondas que se emiten al espacio y que contienen la información, son generadas por una corriente alterna de alta frecuencia que recorre una antena. El receptor recibe estas ondas y les extrae la información convirtiéndola en una orden: activación, apagado, etc.³⁷

³⁶ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 18

³⁷ Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 19

Figura 26. Mando a distancia de cierre centralizado y activación de alarmas por radiofrecuencia



Fuente: Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio - SEAT, S.A. • TECFOTO, S.L. Primera edición Página 19.

4.2.7. Pistolas, aerógrafos y pintura

4.2.7.1. Pistolas

Las pistolas de pintura es la herramienta fundamental del pintor, ¿cómo serían los acabados de tu coche si se hubiesen pintado con brocha?, gracias a la evolución de las pistolas de pintura, hoy en día obtenemos unos acabados estéticos excelentes con unas altas velocidades de aplicación y con un menor consumo de pinturas y disolventes.³⁸

4.2.7.2. Aerógrafo

El aerógrafo es una de las herramientas más necesarias para poder realizar acabados magníficos en el pintado. El terminado que se puede lograr es simplemente superior y los efectos de pintura difuminada son más que imposibles realizarlos con pinceles. Las capas de pintura son más delgadas, por lo que el detalle de superficie se conserva casi intacto. El recubrimiento es más uniforme a lo largo de la superficie además que se pueden pintar mayores áreas en menores tiempos.³⁹

³⁸La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/aerografica.html>

³⁹¿QUE ES EL AEROGRAFO? [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

- *Tipos de aerógrafos*

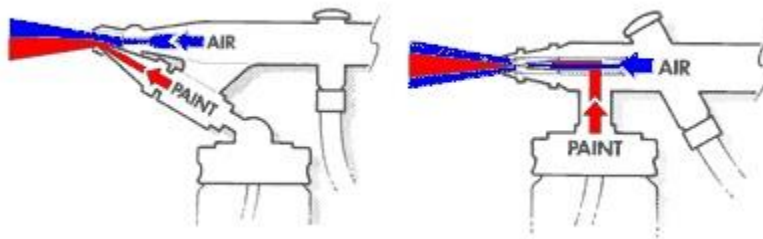
Existen dos tipos de aerógrafo: de acción simple y el de doble acción independiente. A pesar que el propósito es el mismo, cada uno cuenta con características propias.

- *Aerógrafo de acción simple*

Los aerógrafos de acción simple, son aquellos en que la pintura y el aire sale al mismo tiempo con una relación aire/pintura constante, es decir, no se puede controlar la cantidad de pintura al mismo tiempo que se está pintando. Esto normalmente se regula antes de trabajar mediante alguna perilla o tornillo, y si se desea hacer el ancho de pintado todavía más ancho o más delgado (Aplicar más, o menos pintura) tiene que detenerse el pulverizado para poder realizar los ajustes necesarios.

El gatillo tiene una sola función: permitir la salida de aire, de ahí este tipo de aerógrafos toma su nombre. Al presionar el gatillo permite la salida del aire que forma un vacío sobre el recipiente de la pintura. Lo que ocasiona que la pintura sea absorbida, entre al flujo de aire y sea convertida en diminutas gotas (Pulverizado) Hay dos tipos principales, mezcla externa o mezcla interna, este último es mejor. Esto se refiere en que parte se hace la mezcla de la pintura con el aire.⁴⁰

Figura 27. Tipos de mezcla



Fuente: Autores.

Ventajas: La principal es su facilidad de manejo, por lo que puede ser el más indicado para principiantes ya que no hace falta tanto control. Suele ser más barato que los de acción doble.

⁴⁰ ¿QUE ES EL AEROGRAFO? [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

Desventajas: No se tiene control sobre la cantidad de pintura al momento de estar trabajando. La mayoría no son aerógrafos de precisión, por lo que las líneas más delgadas, serán difícil de reproducir.

- *Aerógrafo de acción doble*

El gatillo superior tiene 2 movimientos independientes. Presionando hacia abajo se logra que salga sólo aire. Presionando hacia abajo y hacia atrás se logra la mezcla de aire y pintura. Conforme se deslice el gatillo para atrás se comenzará a suministrar más pintura al flujo de aire. Es decir, entre más atrás se mueva el gatillo, más grueso será el chorro de pintura. Es evidente que, si presionamos muy poco hacia atrás saldrá poca pintura y se pintará una línea delgada.⁴¹

Figura 28. Aerógrafo doble acción.



Fuente: Autores

Ventajas: Se tiene mayor control sobre el grosor del pintado ya que podemos empezar un trazo muy fino y acabarlo más grueso sin que pierda intensidad. Con estos aerógrafos se pueden realizar trabajos de un gran nivel, calidad y detalle.

Desventajas: Es más caro que uno de acción sencilla. Hay que tener mucho control sobre él para conseguir trazo deseado. Para un principiante puede ser algo frustrante ver que es necesario un gran dominio, pero no hay que desanimarse, solo es cuestión de práctica.

- *Alimentación de pintura*

Tanto para los de acción simple como los de acción doble hay dos formas de que la pintura se introduzca en el aerógrafo:

⁴¹ ¿QUE ES EL AEROGRAFO? [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

- *Por gravedad*

La pintura se introduce por propia gravedad en el aerógrafo, es una pieza fija (Copa) que va unida a la parte superior del cuerpo del aerógrafo, por lo tanto, no podemos quitarla.⁴²

Figura 29. Alimentación de pintura por gravedad



Fuente: Autores

Ventajas: No se desperdicia pintura, podemos trabajar sin problemas tanto horizontal como verticalmente. Al no tener tubo de unión entre el cuerpo del aerógrafo y del depósito, no se puede obstruir.

Desventajas: el depósito es fijo, así que tendremos que limpiarlo a la vez que limpiamos el aerógrafo. No podemos intercambiar depósitos y según el modelo de aerógrafo es el único tamaño que podemos utilizar.

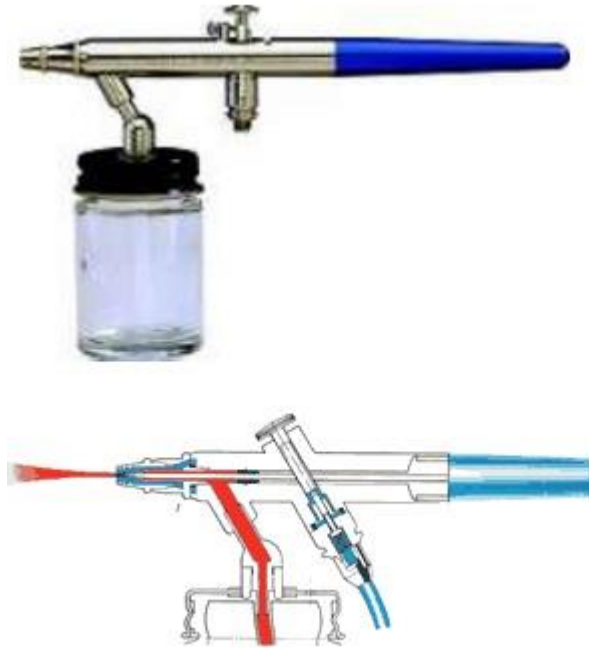
- *Por succión*

El depósito está en la parte inferior del aerógrafo y es una pieza móvil, por lo tanto, podemos quitarla.⁴³

⁴² ¿QUE ES EL AEROGRAFO? [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

⁴³ ¿QUE ES EL AEROGRAFO? [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

Figura 30. Alimentación de pintura por succión



Fuente: Autores

Ventajas: cada vez que se necesita limpiarlo, basta con desmontarlo y limpiarlo. Con distintos juegos de depósito podemos intercambiarlos y así tener más opciones a la hora de pintar superficies grandes o pequeños detalles.

Desventajas: Para los depósitos laterales descubiertos resulta algo complicado pintar sobre una superficie horizontal ya que el depósito queda muy inclinado y se puede llegar a derramar algo de pintura. Varios de ellos tienen un pequeño tubo que une el cuerpo del aerógrafo con el depósito, si se seca la pintura en esa zona se nos puede obstruir.

4.2.7.3. Pintura

La pintura se define como un material de recubrimiento en estado líquido o sólido, el cual una vez extendido sobre una superficie se adhiere y se endurece formando una película que protege, decora o añade alguna función específica a la superficie sobre la cual se ha depositado. Básicamente la pintura tiene principalmente 2 funciones:

- Protección frente a la oxidación, corrosión y degradación de materiales.
- Decoración y embellecimiento de materiales y superficies

- *Protección*

Una de las principales funciones de la pintura es proteger al sustrato o material sobre la cual se ha aplicado, dado a que una vez seca y endurecida, la pintura forma una capa aislante entre el material y el exterior evitando la acción de agentes externos como la humedad, ambientes salinos, radiación ultravioleta, productos químicos, etc... que pueden inducir y provocar al material fenómenos como la oxidación, la corrosión o degradación.

En función del tipo de protección que deseemos obtener se utilizará un tipo de pintura u otra, las pinturas anticorrosivas llevan incorporados aditivos inhibidores de la corrosión, las pinturas que protegen frente la luz solar llevan incorporadas unos aditivos absorbedores de la luz ultravioleta, etc...

- *Decoración*

Otra de las funciones principales de la pintura es decorar y embellecer la superficie, gracias a los pigmentos y aditivos que incorporan las pinturas, hoy en día es posible conseguir un amplio abanico de colores, así como efectos decorativos (efecto camaleón, efecto mercurio, etc...) los cuales realzan y hacen más atractivos las superficies.

Además de estas dos funciones principales, la pintura se puede diseñar para tener unas funciones específicas, por ejemplo pinturas antiadherentes que facilite la limpieza de las superficies, pinturas antibacterianas que eviten el desarrollo de bacterias, pinturas antideflagantes que extingan y eviten la acción del fuego, pinturas antisonoras que absorban los ruidos, pinturas repelentes de suciedad, pinturas luminiscentes para señalización nocturna, pinturas anti-incrustaciones para barcos, etc...

Las pinturas, al igual que los plásticos, se basan en la química y la ciencia de los polímeros, de tal forma que se obtienen todas la ventajas que se pueden conseguir con este tipo de materiales, todas las características de la pintura, su proceso de curado, manipulación, así como sus propiedades mecánicas y químicas vendrán determinadas en gran parte por el polímero base que se utilice en su formulación, sin menospreciar las propiedades que aportan las cargas y aditivos que se introducen durante el diseño y formulación de las pinturas.⁴⁴

⁴⁴La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/definicion-pintura.html>

- *Composición de las pinturas*

La pintura está compuesta de diferentes sustancias químicas, naturales o artificiales, las cuales podemos clasificarlas en los siguientes compuestos básicos:

- Resinas – Se trata del polímero base de la pintura y por ende es el elemento básico, sin la resina no existiría la pintura.
 - Pigmentos – Son materiales sólidos que aportan el tono y el color de las pinturas, así como otras propiedades como anticorrosiva, luminiscente etc...
 - Cargas – Conjunto de materiales y compuestos químicos que aportan y mejoran las propiedades mecánicas, químicas y físicas de las pinturas.
 - Aditivos – Son productos químicos que se añaden en pequeñas cantidades y que tienen por objeto alguna función específica de la pintura como agentes de mojado, promotores de formación del film, agentes niveladores, etc...
 - Disolventes – Son los productos químicos que hacen a la pintura un material líquido y fluido con una viscosidad determinada.
 - Diluyentes – Son los productos químicos que permiten variar la viscosidad de la pintura en función de las condiciones y medios de aplicación, la principal diferencia con los disolventes es que los diluyentes no disuelven a la pintura.
 - Endurecedores– Son compuestos químicos que reaccionan con la resina, produciendo la formación del polímero y por ende el curado o solidificación de la pintura, existen pinturas que no necesitan endurecedores, el curado o solidificación se produce por la acción de la humedad ambiental, la aplicación de luz ultravioleta, etc...
 - Catalizadores – Compuestos químicos que aceleran el proceso de curado de las pinturas, comúnmente conocidos como aceleradores o secantes.⁴⁵
- *Secado de la pintura*

Siempre que aplicamos una pintura necesitamos esperar un tiempo en el cual la pintura pasa de un estado líquido a un estado sólido, tiempo que comúnmente conocemos como tiempo de secado, el conocimiento de los mecanismos de curado de la pintura, así como los métodos que se utilizan para disminuir dicho tiempo, nos permitirá seleccionar los materiales y herramientas necesarios para ejecutar un trabajo de calidad en un corto espacio de tiempo.

⁴⁵ La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/definicion-pintura.html>

En numerosas ocasiones hablamos indistintamente de secado, curado y endurecimiento de la pintura, pero es importante aclarar cada uno de estos conceptos;

- Secado – El secado de la pintura corresponde al proceso de evaporación de todos los solventes y diluyentes añadidos a la pintura con objeto de hacerla líquida o de reducir su viscosidad.
- Endurecimiento – El endurecimiento de la pintura corresponde al proceso por el cual la resina principal de la pintura se crea y a su vez se endurece con todos los demás pigmentos y aditivos que la compone, creando un recubrimiento sólido y adherente.
- Curado – El curado de la pintura corresponde al proceso que engloba tanto el secado como el endurecimiento de una pintura.

Curado = Secado + Endurecimiento.

Atendiendo a las definiciones anteriores comprendemos cuando en una pintura de 2 componentes no le añadimos el endurecedor correspondiente, observando con el paso del tiempo que la pintura ha secado (no mancha cuando se toca) pero no ha endurecido, permitiendo retirarla fácilmente del sustrato aplicado. En el caso anterior decimos que la pintura ha secado (se ha evaporado los solventes), no ha endurecido (dado a que no se le ha añadido el endurecedor) y por lo tanto la pintura no ha curado.⁴⁶

Uno de los métodos más utilizados para clasificar las familias de pintura existentes en el mercado consiste en identificarlas por su mecanismo de curado, de tal forma que tenemos:

- Pinturas de curado físico
- Pinturas de curado químico

Las pinturas de curado físico corresponden al conjunto de pinturas donde la resina principal se encuentra ya formada, para que cure la pintura es necesario únicamente que se evaporen los disolventes introducidos en la propia pintura.

Las pinturas de curado químico corresponden al conjunto de pinturas donde la resina principal (polímero) se crea a través de reacciones químicas (polireacciones) entre diversos compuestos, en este tipo de curado es necesario tanto el secado como el endurecimiento.

Las lacas de nitrocelulosa, lacas acrílicas, pinturas de clorocaucho y pinturas vinílicas son ejemplos de pinturas cuyo curado es físico, por otro lado las pinturas de poliuretano, epoxi, fenólicas y polisiloxanos son ejemplos de pintura cuyo curado es químico.

⁴⁶ La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html>

Todas las pinturas de curado físico o químico podemos acelerar o activar su proceso de curado mediante la aplicación de alguna de las siguientes técnicas:

- Curado por aire caliente
- Curado por radiación
- Curado por procesos eléctricos

El curado por aire caliente consiste en aplicar cierta temperatura a la superficie pintada, de tal forma que el incremento de temperatura provoca una evaporación más rápida de los solventes, así como acelera las reacciones químicas que se llevan a cabo para formar el polímero o resina principal, es decir la temperatura actúa como un catalizador que acelera el proceso de secado y endurecimiento, por ende, acelera el proceso de curado.

Las cabinas de pintura con recirculación de aire caliente utilizan este método para acelerar el proceso de curado, siendo el más utilizado debido a la facilidad de curado de cualquier tipo de pieza independientemente de su geometría, debido a la facilidad de penetración del aire en por cualquier tipo de hueco que disponga la pieza.⁴⁷

El curado por radiación utiliza la tecnología de microondas o infrarrojos para aumentar la temperatura del sustrato de tal forma que el calor se propague a lo largo de la pintura acelerando su proceso de curado por otro lado, la tecnología de radiación ultravioleta activa las reacciones químicas necesarias para provocar el curado de la pintura, las últimas tecnologías utilizan el láser y el plasma para acelerar el proceso de curado.

La principal ventaja del curado por radiación reside en los cortos tiempos que se necesitan para que solidifique la pintura, consiguiéndose tiempos de curado del orden de segundos ideal para la realización de retoques, como desventaja este tipo de secado únicamente se puede aplicar en aquellas zonas donde alcance la radiación emitida, por ello no se utilizan en piezas complejas con diferentes geometrías y huecos ocultos.

El curado por métodos eléctricos consiste en transformar la corriente eléctrica en calor suministrándola directamente a la pieza pintada de tal forma que el calor generado acelera el proceso de curado de la pintura por otro lado, la utilización de campos electromagnéticos calienta a nivel molecular las pinturas acelerando a su vez su proceso de curado.⁴⁸

⁴⁷ La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html>

⁴⁸ La web de la pintura [en línea]. [Fecha de consulta: 10/06/16]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html>

4.3. Marco legal

4.3.1. Normativas y normalización internacionales

En el ámbito internacional se están llevando a cabo una serie de normas y estándares para implementar sistemas automatizados en la industria, los organismos internacionales que se van a tratar son: ISA, STEP e IEC.

- *ISA*

Fundada en 1945, La Sociedad Internacional de Automatización es una empresa líder, mundial, siendo una organización sin fines de lucro que está marcando el estándar de la automatización de todo el mundo, más de 30.000 miembros. Con sede en Research Triangle Park, Carolina del Norte. ISA desarrolla normas; certifica la industria profesional, ofrece educación y formación y publica libros artículos técnicos. A su vez, alberga la mayor conferencia y exposición para la automatización de los profesionales en el Hemisferio Occidental. ISA es el patrocinador de la Federación de Automatización.⁴⁹

- *STEP*

STEP es el nombre de la norma ISO- 10303 sobre Sistemas de automatización industrial y la integración internacional - la representación de datos y el intercambio de productos. STEP es desarrollado y mantenido por el "Technical Committee TC184 Technical Industrial automation systems and integration Sub-Committee SC4" sobre datos industriales dentro de la Organización Internacional de Normalización ISO.⁵⁰

- *IEC*

En el campo de la automatización, la más relevante de estas normas es la IEC 61508 "Seguridad funcional de sistemas eléctricos/electrónicos/electrónico programables (E/E/PES) relacionados con la seguridad". Esta norma es un estándar básico, aplicable a todo tipo de industria, en el que se describen los requisitos de

⁴⁹ ISA: The International Society of Automation [en línea] [Fecha de consulta:06/11/2013]. Disponible en: <http://www.isa.org.sv/isa.php>

⁵⁰ IDA-STEP [en línea] [Fecha de consulta:06/11/2013]. Disponible en: <http://www.ida-step.net/support/resources/about-step>

diseño para el desarrollo de hardware y software destinados a la implementación de funciones instrumentadas de seguridad.⁵¹

4.3.2. Normativas y normalización nacionales

En Colombia se implementan varias normas con respecto a la automatización industrial, alumbrado e Instalaciones eléctricas desarrolladas por el ministerio de minas y energía y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

- *RETIE*

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE se establecen los requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, para esto se han recopilado los preceptos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad. Señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento; la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.⁵²

- *NTC 3348*

Esta norma define las principales dimensiones, designación y marcación para las interfaces mecánicas circulares (Forma A), con el propósito de asegurar la intercambiabilidad y orientación de los terminales de montajes manuales. Esta norma no define otros requisitos del dispositivo de acoplamiento de los terminales y no incluye ninguna relación de rangos de capacidad de carga. La interface mecánica especificada en esta norma también tiene aplicaciones, en sistemas de manejo simples, que no están cubiertas por la definición de manipulación de robots industriales, por ejemplo, alzar y colocar, o unidades maestras-esclavas.⁵³

⁵¹ IEC - International Electrotechnical Commission [en línea] [Fecha de consulta:06/11/2013]. Disponible en: <http://www.iec.ch/functionalsafety/>

⁵² Ministerio de Minas y Energía de Colombia [en línea] [Fecha de consulta:06/11/2013]. Disponible en: http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Anexo_General_RETIE_Res_9_0708_30_de_agosto_2013_corregido_Resolucion_9_0907_25_de_octubre_de_2013.pdf

⁵³ ICONTEC - Norma Técnica Colombiana NTC 3348 [en línea] [Fecha de consulta:06/11/2013]. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3348.pdf>

5. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se identifica el tipo, enfoque, y etapas del proyecto. Se resumen los pasos definidos para llevar a cabo satisfactoriamente la investigación.

5.1. Tipo y enfoque de la investigación

La investigación utilizada para la realización de este proyecto es de tipo aplicada, porque permite utilizar los conocimientos adquiridos para solucionar un problema, en este caso, el problema es que no existe una estación de pintura automática en la planta de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO.

El enfoque de esta investigación es de carácter cuantitativo, como según Manuel Ildelfonso especifica en su tesis doctoral, el enfoque de investigación cuantitativo es secuencial y probatorio ya que cada etapa precede a la siguiente, por lo que no se pueden eludir pasos⁵⁴, este enfoque permite llevar a cabo el proyecto y asegura el cumplimiento de los objetivos de forma secuencial.

La investigación aplicada, consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.⁵⁵

5.2. Etapas del proyecto

Con base en los objetivos establecidos en el proyecto, se llevaron a cabo las siguientes etapas:

5.2.1. Etapa 1. Dimensionamiento del proyecto

- *Dimensionamiento del proyecto e investigación de tecnologías implementadas a estaciones de pintura automáticas*

⁵⁴ TESIS DOCTORAL Página 154 [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2016]. Disponible en http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/cualitativo_cuantitativo_mixto.html

⁵⁵ POLITECNICO JAIME ISAZA CADAVID. Fundamentos rectores - Investigación Aplicada, Innovación y Gestión Tecnológica [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2016]. Disponible en http://www.politecnicojic.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=739%3Afundamentos-rectores&catid=208%3Aplan-de-desarrollo-2010-2016&Itemid=455&limitstart=3

Previamente y con asesorías de expertos en el área, se estableció el punto y la dimensión que debería tener la estación de pintura. Se llegó al acuerdo de que la estación de pintura estaría entre la estación de perforación y la banda transportadora; el tamaño máximo indicado para el prototipo fue de 1.10m de ancho, 1.10m de profundidad y la altura del proyecto se debe definir entre 0.80m y 1.70m. En miras que el proyecto sea flexible en cuanto a dimensiones.

Definido el espacio disponible en el laboratorio GEIPRO, se da inicio a la investigación para llevar a cabo el proyecto.

Se adelantaron búsquedas en diferentes fuentes de información, como libros, webgráficas, artículos de revistas y proyectos de grado con el objetivo de encontrar investigaciones que sentaran las bases respecto a modelos y tipos de cabinas de pintura automáticas en la industria actual.

La información fue clasificada y seleccionada con base en los modelos existentes de cabinas de pintura automáticas que más se ajustaban a los parámetros establecidos para la celda de manufactura flexible y el espacio determinado para la estación de pintura automática en el laboratorio GEIPRO; dando prioridad a los sistemas que se puedan implementar teniendo en cuenta las limitaciones financieras del proyecto en general.

En la actualidad, la mayoría de estaciones de pintura utilizadas en la industria se basan en cabinas de pintura y un sistema de pintura basado en aerógrafos, boquillas aspersoras y pulverizadoras de pintura. Todas se basan en el mismo criterio de aislar la zona donde se va a realizar la labor de pintar; debido a que la pintura contiene agentes contaminantes y se deben neutralizar para evitar daños ambientales. En la Figura 31 se muestran algunos tipos de cabinas de pintura automáticas y sus diferentes aplicaciones.

Figura 31. Diferentes tipos de cabinas de pintura



Fuente: Autores

La estación de pintura automática para la celda de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO está basada en el concepto de cabina de pintura sellada, debido a que es el sistema más utilizado en la industria porque permite aislar el ambiente donde se va realizar el proceso para evitar posibles daños ambientales.

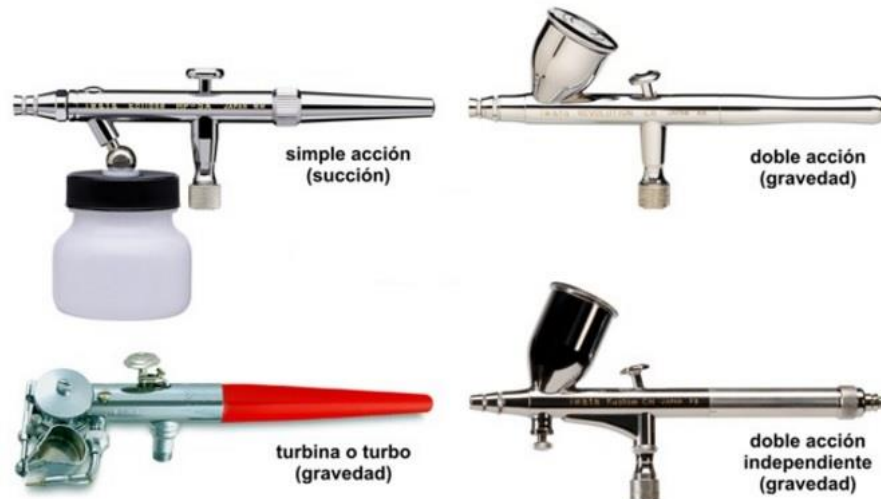
La información adquirida en la búsqueda de sistemas aspersores de pintura y sistemas automáticos para pintura determinó que hay muchas técnicas de pintado aplicables para el proyecto; teniendo en cuenta los requerimientos del prototipo, las especificaciones del producto a pintar y el presupuesto disponible, se seleccionan dos posibles métodos de pintura para implementar en la estación de pintura automática:

Debido a que los sistemas automáticos de pintura por succión requieren mayor presión para extraer la pintura, se decidió implementar el sistema de pintura por gravedad con control de flujo de aire y pintura mediante electroválvulas y sensores inductivos.

Se llegó a la conclusión de utilizar aerógrafos en vez de pistolas debido a que éstas últimas son más costosas y robustas y la capacidad del aerógrafo se

adapta mejor a la necesidad del prototipo. En la figura 32 se detallan los tipos de aerógrafos que se manejan en el mercado actualmente.

Figura 32. Tipos de aerógrafos



Fuente: Autores

Según los datos adquiridos para el proceso de secado de la pintura, los métodos más utilizados normalmente en procesos de manufactura son por medio de hornos de secado o con la implementación de un túnel de calor. El primero se descartó porque se genera la necesidad de un operario o una máquina diseñada específicamente para manipular la pieza desde la cabina de pintura hasta otra estación de secado; mientras que el túnel de calor puede instalarse dentro de la cabina de pintura dando como resultado un solo proceso.

Para el transporte de la pieza de madera que se va pintar, se evidenciaron varios métodos utilizados en la industria, tales como bandas transportadoras, bandas descarriladoras, elevadores, brazos robóticos, rodillos, deslizadores. Algunos de éstos son muy complejos y costosos para su implementación. Para el prototipo se implementaron diversos tipos de transporte en el transcurso del proceso, éstos fueron bandas transportadoras, deslizadores y rodillos.

Entre las múltiples posibilidades que se encontraron para la extracción de los residuos tóxicos de pintura, la mayoría de ellas requerían un alto presupuesto, mano de obra e infraestructura, sin embargo, la presente investigación determinó que las más apropiadas para llevarlo a cabo son las de extracción y filtro de espuma en sistema vertical, ya sea hacia arriba o hacia abajo. Se descartó el sistema de extracción vertical con filtro de espuma hacia arriba

debido a que requiere un extractor más potente y las partículas de pintura o polvo que se encuentran en la parte inferior de la cabina podrían arruinar el acabado de las piezas de madera terminadas.

5.2.2. ***Etapa 2. Realización de planos***

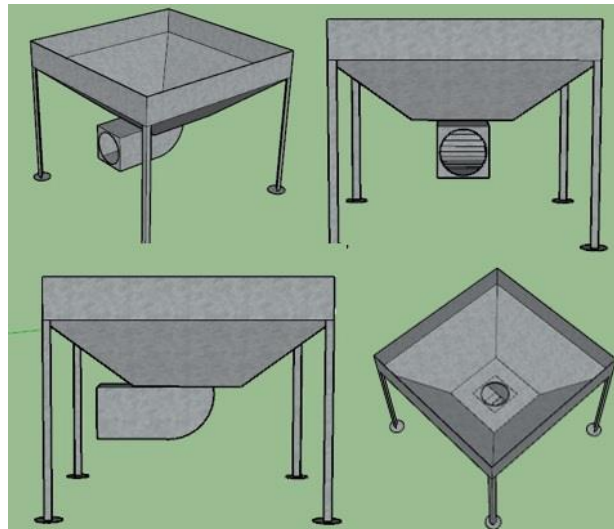
- *Realización de planos mecánicos 3D del proyecto de estación de pintura automática.*

En esta etapa se diseñó la estructura principal de la cabina del prototipo, así como la estructura de las bandas transportadoras, el túnel de secado, la estructura que soporta el sistema neumático y el sistema de extracción de aire y sustancias contaminantes teniendo en cuenta las dimensiones del área de trabajo. Para esto se utilizó la versión gratuita de prueba de 30 días del software Google SketchUp 2016, que se descargó de su página oficial.

5.2.2.1. Diseño de la base del prototipo

La base y los soportes metálicos del prototipo son los que permiten al prototipo adaptarse al área de trabajo, en la parte inferior se encuentra el sistema de extracción de aire y sustancias contaminantes. En la figura 33 se muestra el diseño de la base y soportes de la cabina de pintura, así como el diseño del sistema de extracción de aire.

Figura 33. Base de la cabina de pintura

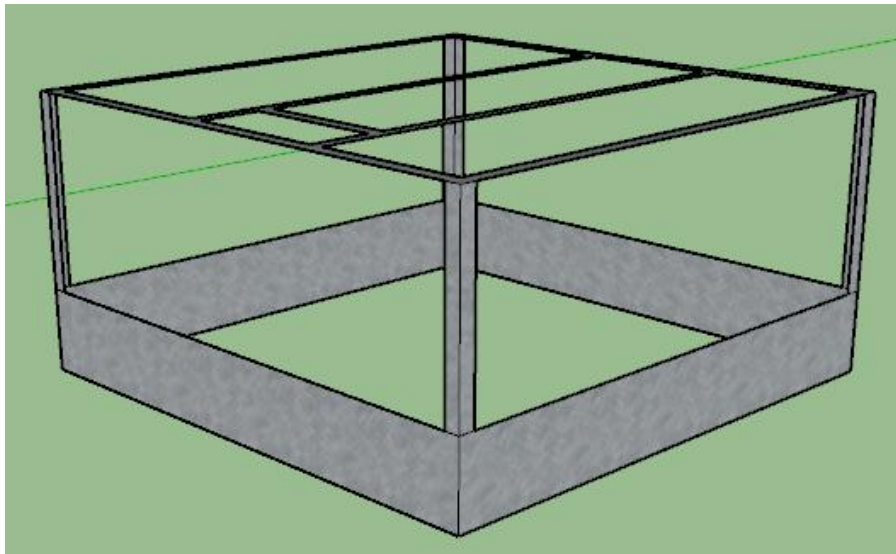


Fuente: Autores

5.2.2.2. Diseño de cabina de pintura

Se diseñó la estructura de la cabina en ángulos de hierro que servirán como marcos para las paredes en acrílico liso y así encerrar el área donde se realizará el proceso de pintado. En la parte superior se incorporaron platinas para sostener el sistema neumático y los soportes donde irán los aerógrafos. En la figura 34 se muestra el diseño de la parte superior de la cabina de pintura.

Figura 34. Parte superior de la cabina de pintura

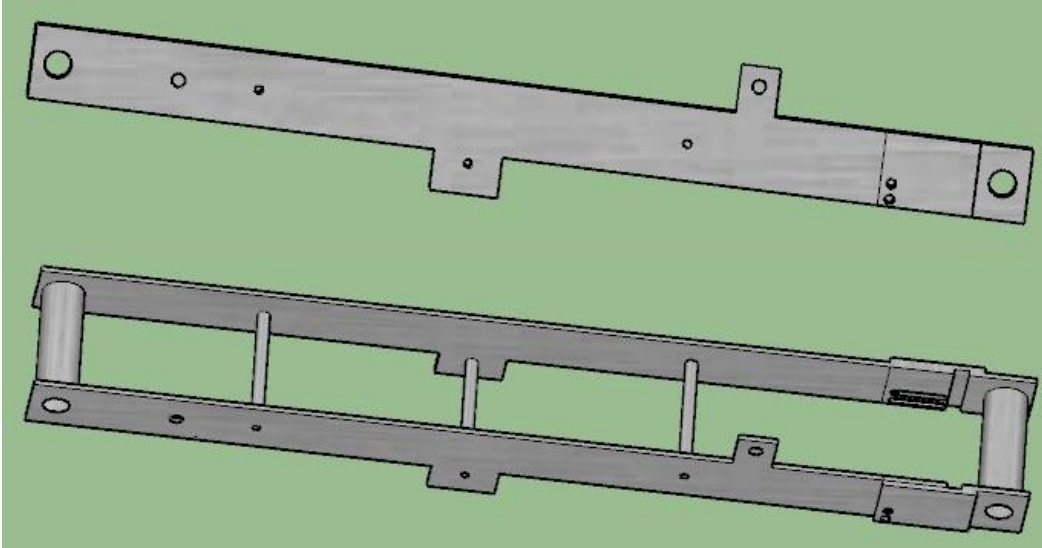


Fuente: Autores

5.2.2.3. Diseño de bandas transportadoras

Las bandas transportadoras tienen un sistema que les permite aumentar su longitud hasta 5cm. de su medida original; las bandas transportadoras se implementaron como se aprecia en la figura 35.

Figura 35. Diseño de bandas transportadoras

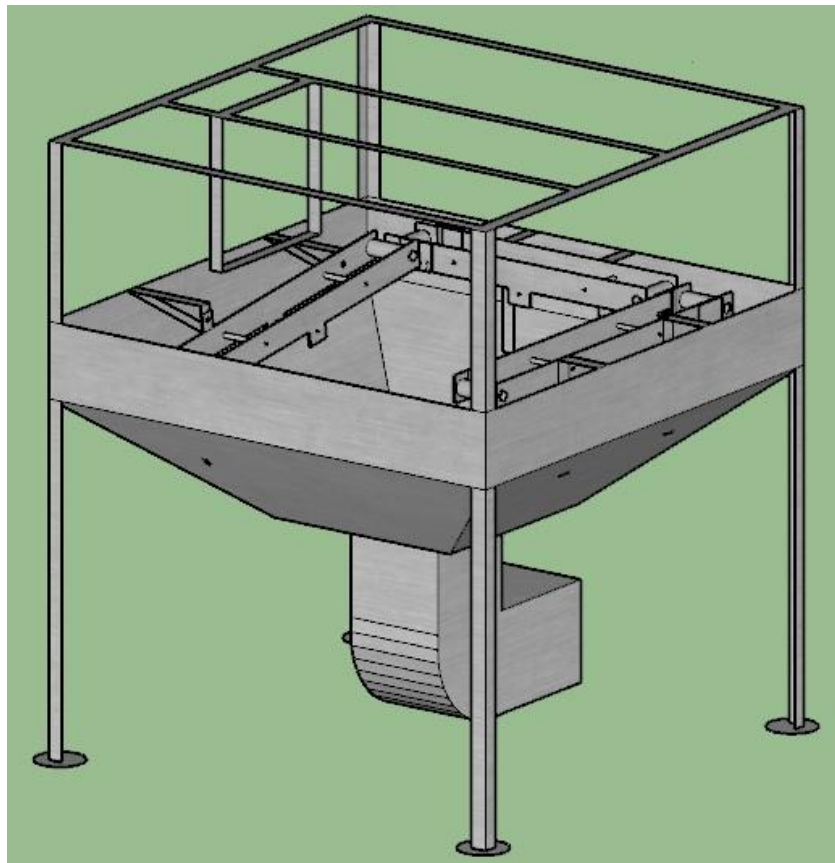


Fuente: Autores

5.2.2.4. Diseño de estructura mecánica del prototipo

El diseño definitivo de la estructura de la estación de pintura automática está basado en los sistemas de tipo cabina de pintura, los más implementados en la industria y se adecuaron las bandas transportadoras para poder desplazar el producto a través del prototipo hasta llegar al punto de entrega. En la figura 36 se observa el diseño de la estructura del prototipo de estación de pintura automática.

Figura 36. Diseño del prototipo completo



Fuente: Autores

5.2.3. Etapa 3. Selección de sensores

Uno de los elementos o podríamos llamar actores principales de la automatización industrial son los detectores o sensores que nos aportan información sobre el proceso de forma que podamos tomar las decisiones adecuadas de control en cada parte de un proceso controlado automáticamente.

Los sensores como parte del sistema de control, sustituyen la labor del controlador humano que en un sistema de producción sin automatizar o semiautomático decide el momento en que se debe activar una resistencia de calentamiento, accionar el movimiento de un motor etc, Los distintos detectores, sensores disponibles se agrupan bajo un nombre o técnica conocido como sensórica que sería esa parte de

la técnica encargada del estudio y clasificación de los distintos métodos y soluciones de detección para cualquier tipo de señal.⁵⁶

El mercado actual ofrece muchas opciones respecto al tipo o modelo de sensores y actuadores a utilizar para el correcto funcionamiento del prototipo en sensores y motores las opciones son: sensores inductivos, sensores capacitivos y sensores ultrasónicos. Por el lado de los motores se tienen los motores paso a paso, motoredutores dc, motores dc y servomotores dichos ejemplos de sensores y motores se pueden observar en las figuras 37 y 38.

Figura 37. Tipos de sensores



Fuente: Autores.

Figura 38. Tipos de motores



Fuente: Autores

⁵⁶ Blog SEAS [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.seas.es/blog/automatizacion/sensores-inductivos/>

En los sensores la opción que se utilizó en el prototipo fueron los inductivos o capacitivos ya que son más exactos en la detección de objetos y la adaptación para su manejo en la automatización es excelente, respecto a los motores por torque y fuerza al mover las bandas transportadoras las opciones más viables son los motores paso a paso y el motoreductor también son amigables para la automatización del proceso.

6. RESULTADOS

En la implementación del prototipo diseñado se siguió el protocolo acordado. Se explican las características de los componentes de la estructura mecánica, los dispositivos eléctricos y electrónicos utilizados con sus respectivas etapas de control.

6.1. Construcción del prototipo con base en el diseño seleccionado

Para la construcción del prototipo se utilizaron los siguientes materiales:

- Lámina galvanizada calibre 18.
- Ángulo de hierro de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ ".
- Lámina calibre 20.
- Malla eslabonada.
- Platina de hierro de 2" x $\frac{1}{8}$ ".
- Platina de hierro de 1" x $\frac{1}{8}$ ".
- Varilla de acero torneado de 1".
- Rodamientos.
- Tornillos, tuercas, arandelas, guasas.
- Soldadura de arco.
- Rodillos en aluminio.

Como procedimiento, para la construcción de la base, se corta el ángulo de hierro y se sueldan sus extremos formando un cuadrado de 1m² que se eleva a 0,82 m del piso apoyado en cuatro patas. Desde esa base se proyectan hacia arriba cuatro ángulos en sus esquinas de 0,27 m y al final de éstos se suelda otro cuadrado de la misma dimensión del anterior. El material para la base garantiza estabilidad y firmeza a la estructura del prototipo.

Una vez realizado el esqueleto de la estructura, se procede a cortar, doblar y soldar la lámina galvanizada formando así un embudo que conecta con un ducto de 0,2 x 0,2 m. Su función es la extracción y purificación del aire que contiene residuos de pintura.

En la Figura 39, se observa la estructura en su primera fase, teniendo las características mencionadas anteriormente.

Figura 39.. Primera etapa prototipo



Fuente: Autores

Para la elaboración de las bandas transportadoras se cortaron dos platinas de 2" de la misma longitud que se usan como estructura base, éstas platinas se sostienen entre sí por tres varillas de 0,1 m de longitud soldadas a una platina y atornilladas a la otra. Posteriormente se perforan los extremos para insertar los rodamientos.

Dos varillas torneadas funcionan como ejes principales de las bandas transportadoras, encajando en los rodamientos y permitiendo que la banda se desplace. Para que la banda no pierda tensión, se instala un rodillo en aluminio en la parte inferior de la banda. Se sueldan platinas para permitir el ensamble del motor.

Igualmente, se diseñó un sistema para que la longitud de la banda sea variable. Este consta de dos platinas de 0,05 m que se instalan a un extremo de las platinas con dos tornillos que se ajustan en un rango de 0,04 m. Estas platinas tienen un eje principal. En la Figura 40 se puede apreciar una de las tres bandas utilizadas en el prototipo.

Figura 40. Banda transportadora



Fuente: Autores

Con las bandas ya desarrolladas, se procede a instalar cada una de las mismas en la estructura con dos soportes en platina de 1". Estas se atornillan las bandas a los soportes como se observa en la Figura 41.

Figura 41. Instalación de bandas transportadoras



Fuente: Autores

En la parte superior, se procede a soldar dos ángulos y a éstos se le incorporan dos platinas que servirán como soporte para las cuatro pistolas utilizadas. Entre los dos ángulos se instala el sistema neumático que controla el flujo de aire de las pistolas. Se maneja con dos electroválvulas. Una para cada dos pistolas como se evidencia en la Figura 42.

Figura 42. Instalación de electroválvulas para control de aire



Fuente: Autores

Como se observa en la Figura 43, Se instalan los aerógrafos atornillados en las platinas mencionadas anteriormente con el sistema del gatillo accionado para realizar el control del flujo de aire y de pintura.

Figura 43.. Instalación de aerógrafos



Fuente: Autores

Al final del ducto se instala el extractor y a éste un cajón en lámina calibre 18 que lleva en él una bandeja para el filtro y una malla eslabonada para la extracción del aire purificado.

Como se observa en las Figuras 44 y 45, el extractor queda en medio del ducto de la estructura y el sistema de purificación de aire.

Figura 44. Instalación del sistema de extracción



Fuente: Autores

Figura 45. Bandeja para el filtro de pintura



Fuente: Autores

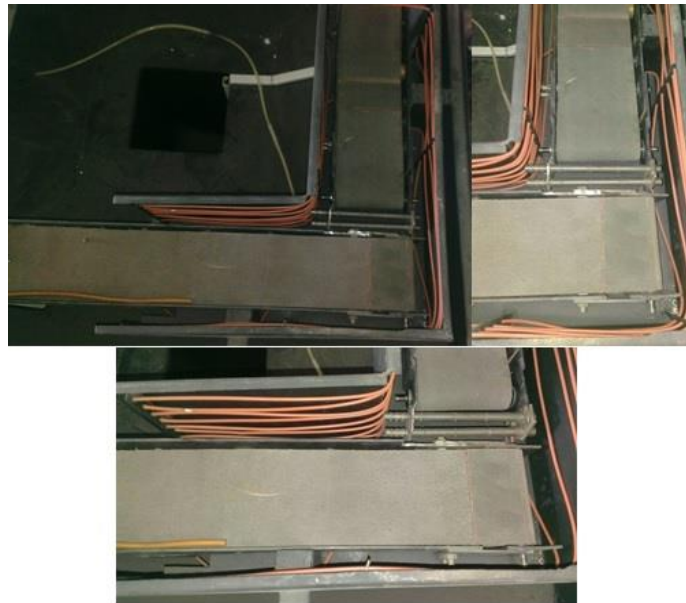
El túnel de secado del producto terminado se elaboró en lámina calibre 18. Se realizó en forma de "L" logrando así que la pintura se cure totalmente en el trayecto de dos bandas. Al interior de éste se instala un cable de fibra de carbono utilizado para calentar a la temperatura deseada ideal para el curado de pintura. En la Figura 46 y 47 se observa el interior y el exterior del túnel de secado.

Figura 46. Túnel de secado por fuera



Fuente: Autores

Figura 47. Túnel de secado por dentro



Fuente: Autores

6.2. Componentes utilizados para la implementación del prototipo

Para hacer posible la automatización del prototipo, fue necesario adquirir los siguientes componentes para cumplir con los requisitos y los parámetros pactados para la estación de pintura automática. A continuación, se presentarán las fichas técnicas de dichos elementos.

6.2.1. Actuadores

Son los encargados de realizar acciones físicas y/o mecánicas para generar un efecto sobre un proceso. Los actuadores utilizados en la estación de pintura automática para la celda de manufactura flexible GEIPRO son:

- Cuatro (4) Aerógrafos. Dispositivos utilizados para realizar la acción de pintar. Éstos van conectados a dos mangueras, una suministra aire comprimido y la otra suministra la pintura. Para pintar de forma adecuada se regula el paso de aire y pintura por medio de electroválvulas. En la figura 48 se muestra el tipo de aerógrafos utilizados y en la tabla 1 su ficha técnica.

Figura 48. Aerógrafo



Fuente: Autores

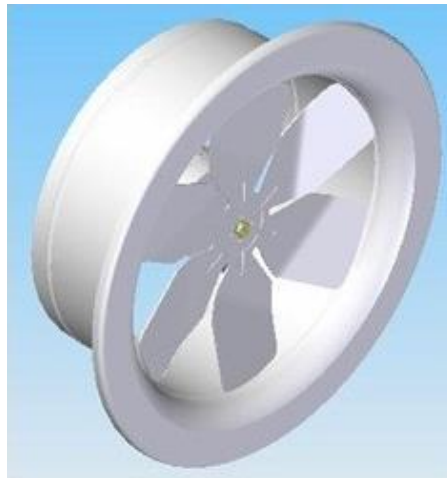
Tabla 1. Ficha técnica de aerógrafos

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tipo	Equipos para pintar
Beneficio	Permite acabados perfectos
Características	Aerógrafo de gravedad con amplio abanico, gran precisión, especial en el uso de pintura artística, decoración de modelos y juguetes.
Material	Aluminio
Uso	Para pintar superficies

Fuente: Homecenter [En línea]. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2016]. [Recuperado de: <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/78448/Aerografo-de-gravedad-200-cc>].

- Tres (3) Motorreductores 12VDC. Utilizados para el movimiento de las bandas transportadoras.
- Extractor 110VAC. Está ubicado en la parte inferior del ducto de extracción de aire y sirve para sacar el aire contaminado con pintura de la estructura hacia el filtro purificador de aire. En la figura 49 se muestra el extractor utilizado y en la tabla 2 su ficha técnica.

Figura 49. Extractor de aire



Fuente: Autores

Tabla 2. Ficha técnica de extractor de aire

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Aspa	Aspa metálica
Motor	Motor Sellado
Velocidad	1550 RPM
Caudal	0.32 m ³ /Seg
Voltaje	110VAC
Amperaje	0.57 AMP

Fuente: Mercadolibre [En línea]. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2016]. [Recuperado de: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-423157059-extractor-de-aire-10-pulgadas-110v-_JM].

- Cable de fibra de carbón. Es el encargado de aumentar la temperatura al interior del túnel de secado. Se encuentra distribuido a lo largo del túnel para cubrir toda el área del mismo. En la figura 50 se muestra el cable utilizado y en la tabla 3 su ficha técnica.

Figura 50. Cable de fibra de carbón



Fuente: Autores

Tabla 3. Ficha técnica de cable de fibra de carbón

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Aislamiento	Caucho de silicona
Conductor de calor	12K
Voltaje máximo	300V
Corriente de fuga	0.05 mA/m
Potencia máxima	25W.m
Diámetro	3mm
Color	Rojo

Fuente: Autores

6.2.2. **Sensores**

Son los dispositivos que se encargan de recopilar los datos para que el sistema de control pueda tomar los valores del proceso y así saber que acción tomar. En resumen, se encargan de monitorear el proceso. Los sensores utilizados para el prototipo son:

- Sensor de proximidad capacitivo LJC18A31. Se utiliza para detectar la llegada de los bloques suministrados por la estación anterior en la línea de producción. Se eligió este tipo de sensor porque tiene rango de acción amplio y regulable. En la figura 51 se muestra el tipo de sensor utilizado y en la tabla 4 su ficha técnica.

Figura 51. Sensor de proximidad LJC18A31



Fuente: Autores

Tabla 4. Ficha técnica de sensor de proximidad

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Diámetro	18mm
Transistor	NPN
Voltaje de Operación	3.5 - 30V DC
Rango de Operación	1 - 10mm

Fuente: Autores

- Termopar tipo K. Se encuentra en el interior del túnel de secado, su función es tomar la temperatura en tiempo real dentro del túnel para que el sistema de control pueda determinar y variar la temperatura. En la figura 52 se muestra la termocupla tipo K y en la tabla 5 su ficha técnica.

Figura 52. Termopar tipo K



Fuente: Autores

Tabla 5. Ficha técnica de termopar tipo K

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Largo	1 M
Diámetro de sensor	4.5 mm
Rango de temperatura	0 - 400 °C
Aislamiento interno	Fibra de vidrio

Fuente: Autores

6.2.3. *Dispositivos de control*

Son los que se encargan de interpretar las señales de los sensores y enviar las señales de maniobra a los actuadores para realizar la operación automatizada. Se encuentran aislados de la estructura, dentro del tablero de control. Los cuales son:

- Control PID de temperatura REX C-100. Dispositivo que se encarga de regular la temperatura en el interior del túnel de secado. Se encuentra dentro del tablero de control. En la figura 53 se muestra el sistema de control PID y en la tabla 6 su ficha técnica.

Figura 53. Control PID de temperatura REX C-100



Fuente: Autores

Tabla 6. Ficha técnica de Control PID de temperatura

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada	110 - 220 VAC
Ciclo de muestreo	0.5 Seg
Salida de relé	3.5 - 30 VDC / 24 - 250 VAC
Resolución	14 bits
Precisión	± 5%
Rango de temperatura	0 a 400 °C

Fuente: Autores

- Driver L-298 N. Dispositivo que conecta los motores con el dispositivo Arduino, sirve como protección entre el controlador y la etapa de potencia. Se encuentran dentro del tablero de control. En la figura 54 se muestran los drivers utilizados y en la tabla 7 su ficha técnica.

Figura 54. Driver L-298 N



Fuente: Autores

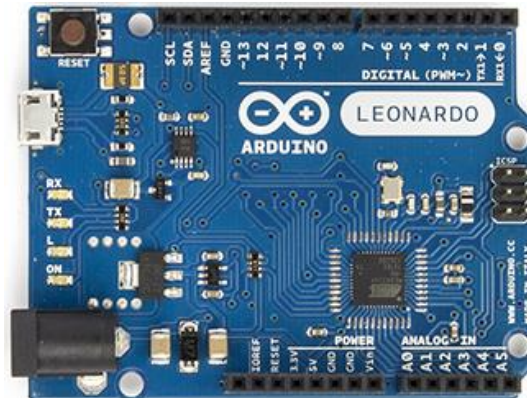
Tabla 7. Ficha técnica de Driver L-298 N

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada	5 – 12 VDC.
Canales de salida	4.
Corriente de salida	500 mA por salida.
Motores controlados	Paso a Paso / Motor DC.
Voltaje de activación	3 – 7 VDC.

Fuente: Autores

- Arduino Leonardo. Arduino Leonardo es un microcontrolador con 20 pines configurables como entradas o salidas (7 de ellos configurables como salidas PWM), conexión a USB. Opera a 5V DC. Se utiliza para controlar la velocidad de los motores de las bandas transportadoras. Se encuentra dentro del tablero de control. En la figura 55 se muestra el arduino utilizado y en la tabla 8 su ficha técnica.

Figura 55. Arduino Leonardo



Fuente: Autores

Tabla 8. Ficha técnica de Arduino Leonardo

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada	7 - 12 VDC.
Entradas/Salidas digitales	20.
Canales PWM	7.
Reloj	16 MHz.
SRAM	2.5 KB.
EEPROM	1 KB.
Memoria FLASH	32 KB.
Corriente por salida	40 mA
Voltaje de salida	3.3 – 5 VDC.

Fuente: Autores

- PLC Siemens S7 200. Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada para automatizar procesos electromecánicos. El PLC controla el prototipo en general y sincroniza las entradas y las salidas para que la estación de pintura funcione automáticamente. Se encuentra dentro del tablero de control. En la figura 56 se muestra el PLC S7 200 y en la tabla 9 su ficha técnica.

Figura 56. PLC S7 200



Fuente: Autores

Tabla 9. Ficha técnica de PLC S7 200

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada	85 – 235 VAC.
Entradas (24 VDC)	14
Salidas	10 Relay Output.
Voltaje salidas	5 – 30 VDC / 24 – 225 VAC.
Software	STEP 7 Micro/WIN
Protocolo de interconexión	PROFIBUS

Fuente: Autores

- Relé de estado sólido (SSR). Los Relé de Estado Sólido (Solid State Relay) utilizan semiconductores de potencia y no utilizan contactos mecánicos. Ideales para salidas de alta tensión que requieran alta precisión. Utilizado para conmutar la alimentación del cable de fibra de carbón. Se encuentra dentro del tablero de control. En la figura 57 se muestra el relé de estado sólido SSR-40 DA y en la tabla 10 su ficha técnica.

Figura 57. Relé de estado sólido SSR-40 DA



Fuente: Autores

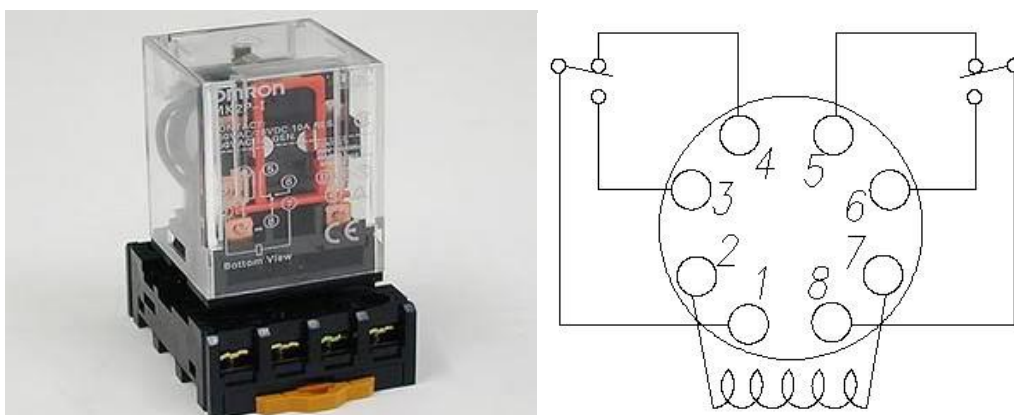
Tabla 10. Ficha técnica de SSR-40 DA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de entrada	3 - 32 VDC.
Voltaje de salida	24 - 380 VAC.
Corriente máxima	40 A.

Fuente: Autores

- Relevo 24VDC ocho pines. Éstos contienen dos contactos que se activan simultáneamente alimentando la bobina interna. Se utilizan para activar o desactivar las salidas previamente programadas en el PLC. Se encuentran dentro del tablero de control. En la figura 58 se muestra el relé utilizado y su diagrama de conexiones y en la tabla 11 su ficha técnica.

Figura 58. Relé 8 pines 24VDC



Fuente: Autores

Tabla 11. Ficha técnica de Relé 8 pines 24VDC

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje de bobina	24 VDC.
Pines	8.
Contactos	2.
Voltaje de salida	3.4 - 30 VDC / 24 – 225 VAC.
Corriente máxima	5 A.

Fuente: Autores

6.2.4. Elementos de protección

Para garantizar que los elementos del prototipo no vayan a sufrir daño por una sobrecarga de energía, se instalaron los siguientes elementos de protección a la alimentación general del proyecto:

- Interruptor termomagnético. Dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Se encuentra ubicada en el tablero de alimentación. En la figura 59 se muestra la protección termomagnética y en la tabla 12 su ficha técnica.

Figura 59. Protección termomagnética



Fuente: Autores

Tabla 12. Ficha técnica de interruptor termomagnético

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje máximo de entrada	250 VAC.
Corriente máxima	16 A.
Líneas conmutadas	2.

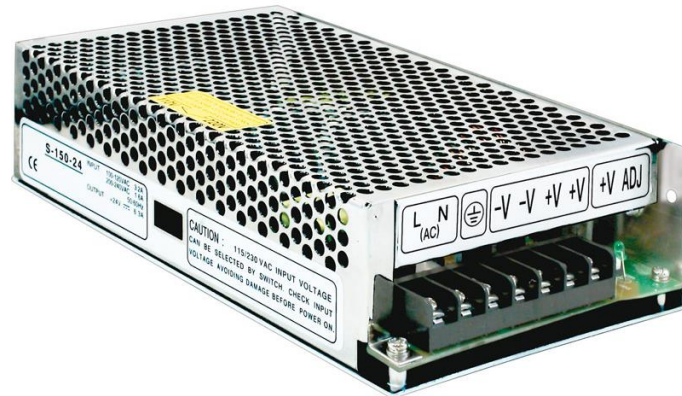
Fuente: Autores

6.2.5. Elementos de suministro eléctrico

Para poder alimentar los dispositivos de control, actuadores y sensores; fue necesario adaptar las señales a los requerimientos de cada uno de los dispositivos del prototipo. Para esto se utilizaron dos tipos de fuentes de voltaje; las cuales fueron:

- Fuente DC 24 Voltios 5 Amperios. Elemento utilizado para alimentar las electroválvulas de aire y pintura, los sensores capacitivos y las bobinas de los Relés. Se encuentra en el tablero de alimentación. En la figura 60 se muestra la fuente DC 24V utilizada y en la tabla 13 su ficha técnica.

Figura 60. Fuente DC 24V 5A



Fuente: Autores

Tabla 13. Ficha técnica de fuente DC 24V 5A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje entrada	110 VAC.
Corriente máxima	5 A.
Voltaje salida	24 VDC.
Salidas	2.

Fuente: Autores

- Fuente DC 12 Voltios 5 Amperios. Elemento utilizado para alimentar los driver y motores de las bandas transportadoras. Se encuentra en el tablero de alimentación. En la figura 61 se muestra el extractor utilizado y en la tabla 14 su ficha técnica.

Figura 61. Fuente DC 12V 5A



Fuente: Autores

Tabla 14. Ficha técnica de fuente DC 12V 5A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje entrada	110 VAC.
Corriente máxima	5 A.
Voltaje salida	12 VDC.
Salidas	1.

Fuente: Autores

6.2.6. *Software utilizado*

Para programar y simular el código del PLC y la placa de Arduino, fue indispensable el uso de software especializado que permite interactuar con el dispositivo directamente desde un computador. Se eligieron estos programas debido a su gran variedad de herramientas, la facilidad para implementar los códigos de programación y principalmente por ser software libre, descargados directamente desde su página oficial. Los programas utilizados son:

- STEP 7 Lite – Micro/WIN 4.0 SP9. Versión libre para modelos Siemens. Este programa contiene todas las herramientas necesarias para programar los PLC's S7 200, permite conmutar entradas para realizar simulaciones y detectar errores fácilmente. Con ésta herramienta se ahorró mucho tiempo en simulaciones debido a la comodidad de su interfaz y la velocidad con la que detectaba errores de programación. En la figura 62 se observa la pantalla de inicio del programa STEP 7 – Micro/WIN.

Figura 62. Portada STEP 7 – Micro/WIN



Fuente: Autores

- ARDUINO 1.6.0. El programa oficial de Arduino es la herramienta ideal para programar cualquiera de las placas Arduino del mercado, incluye las librerías más utilizadas en proyectos en general, su entorno JAVA permitió programar rápidamente el microcontrolador; ARDUINO 1.6.0 está disponible para Windows, MAC OSX y Linux. En la figura 63 se observa la pantalla de inicio del programa ARDUINO 1.6.0.

Figura 63. Portada ARDUINO 1.6.0



Fuente: Autores

6.3. Códigos y programación para automatización del prototipo

Para automatizar la estación de pintura fue necesario implementar los siguientes programas:

6.3.1. Programa LADDER para PLC S7 200

El PLC es el dispositivo principal de la automatización, su programa consta de once (11) redes internas, las cuales controlan cinco (5) salidas de la estación, dos (2) salidas auxiliares que funcionan como variables de activación de temporizadores y cuatro (4) temporizadores para activar las electroválvulas de aire y pintura. En la tabla 15 se especifica cómo están configuradas las entradas del PLC y qué representan en la estructura del prototipo, y en la tabla 16 se describen las salidas programadas en el PLC y qué representan en el prototipo, cada salida envía un pulso de 24 VDC, la cual activa el contacto de los relés permitiendo conmutar las alimentaciones de las salidas del proyecto.

Tabla 15. Configuración de entradas del PLC

PIN	CONFIGURACIÓN	DESCRIPCIÓN
I0.0	N. Cerrado	Pulsador de emergencia
I0.1	N. Abierto	Pulsador verde
I0.2	N. Cerrado	Pulsador rojo
I1.0	N. Abierto	Sensor capacitivo 1
I1.1	N. Abierto	Sensor capacitivo 2

Fuente: Autores

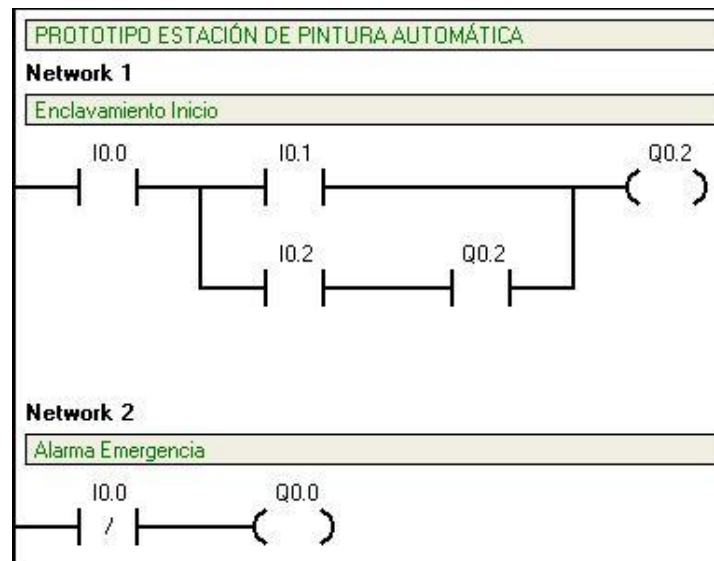
Tabla 16. Configuración de salidas del PLC

PIN	DESCRIPCIÓN
Q0.0	Piloto alarma de emergencia
Q0.1	Activador arranque de motores y extractor
Q0.2	Activador pilotos START, STOP
Q0.3	Activador electroválvulas primera etapa
Q0.4	Activador electroválvulas segunda etapa
Q1.0	Activador temporizadores primera etapa
Q1.1	Activador temporizadores segunda etapa

Fuente: Autores

En la figura 64 se muestran las redes 1 y 2 del programa PROTOTIPO ESTACIÓN DE PINTURA AUTOMÁTICA. En la red 1 se programa el enclavamiento de inicio del programa y en la red 2 se configura la alarma de emergencia.

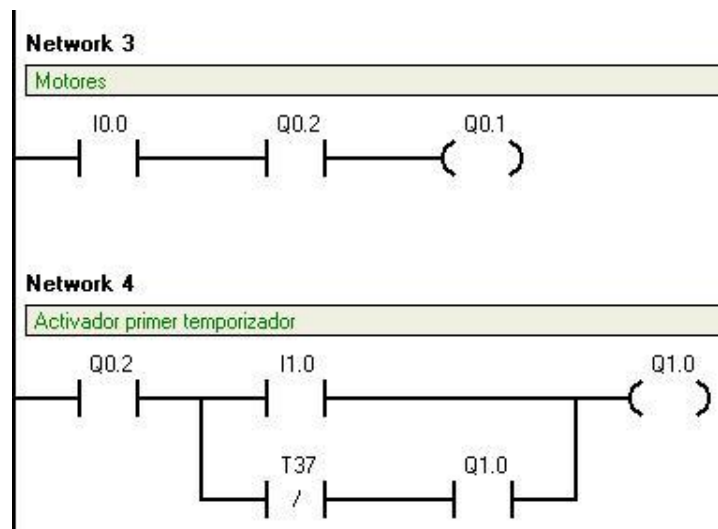
Figura 64. Redes 1 y 2 del programa del PLC



Fuente: Autores

En la figura 65 se observan las redes 3 y 4 del programa PROTOTIPO ESTACIÓN DE PINTURA AUTOMÁTICA. En la red 3 se programa el accionamiento de los motores que arrastran las bandas transportadoras. En la red 4 se configura el activador de los temporizadores 1 y 2 encargados de determinar el retraso de inicio y la duración total de accionamiento de las electroválvulas de la primera etapa de pintura.

Figura 65. Redes 3 y 4 del programa del PLC



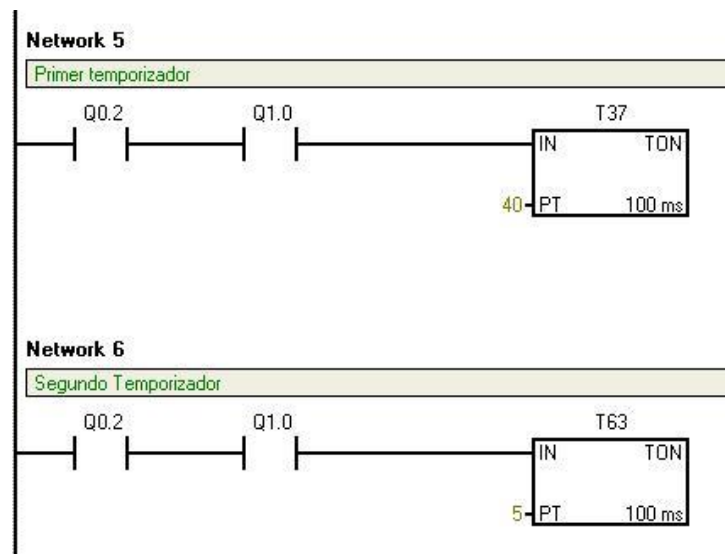
Fuente: Autores

En la figura 66 se observan los temporizadores de la primera etapa de pintura. El primer temporizador (T37) representa el tiempo que transcurre desde que se detecta el bloque hasta que pasa por completo por la etapa de pintura. El segundo temporizador (T63) define el tiempo que debe transcurrir para iniciar el proceso de pintura. El tiempo requerido para pintar el bloque está definido por la siguiente ecuación:

$$T_P = T_1 - T_2$$

La duración del proceso (T_p), es la diferencia entre el tiempo completo de activación, determinado por el temporizador 1 (T_1) y el tiempo de retraso de activación, definido por el temporizador 2 (T_2).

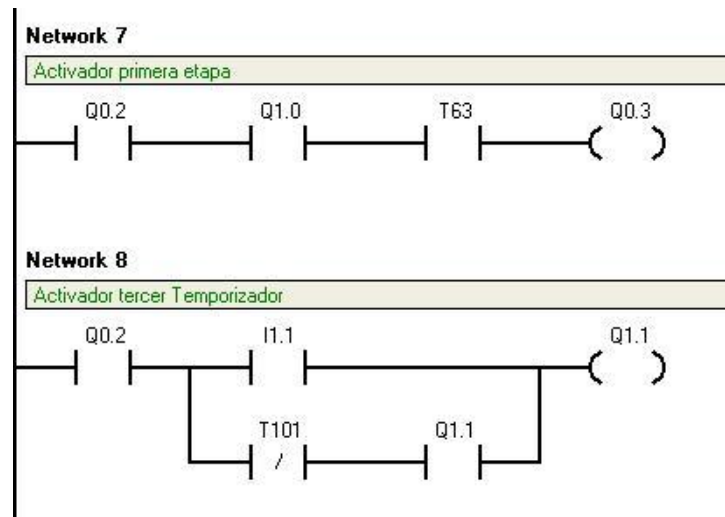
Figura 66. Redes 5 y 6 del programa del PLC



Fuente: Autores

En la figura 67 se definen las redes 7 y 8. En la red 7 se configura la salida de la primera etapa de pintura, definiendo el tiempo total de accionamiento y el retraso de activación de las electroválvulas para reducir el desperdicio de materia prima. En la red 8 se configura el activador de los temporizadores 3 y 4, los cuales controlan la segunda etapa de pintura.

Figura 67. Redes 7 y 8 del programa del PLC



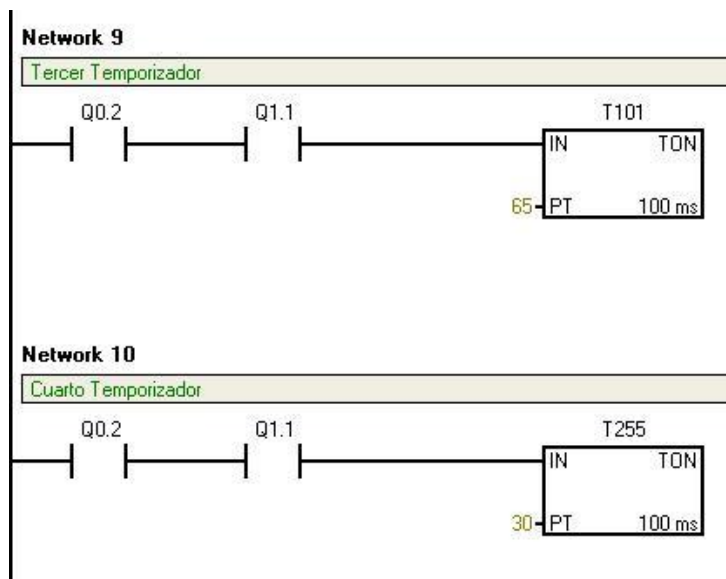
Fuente: Autores

En la figura 68 se observan los temporizadores de la segunda etapa de pintura. El tercer temporizador (T101) representa el tiempo que transcurre desde que se detecta el bloque hasta que pasa por completo por el proceso de pintado. El cuarto temporizador (T255) define el tiempo que debe transcurrir para aplicar la pintura. El tiempo requerido para pintar el bloque está definido por la siguiente ecuación:

$$T_P = T_3 - T_4$$

La duración del proceso (T_p), es la diferencia entre el tiempo completo de activación, determinado por el temporizador 3 (T_3) y el tiempo de retraso de activación, definido por el temporizador 4 (T_4).

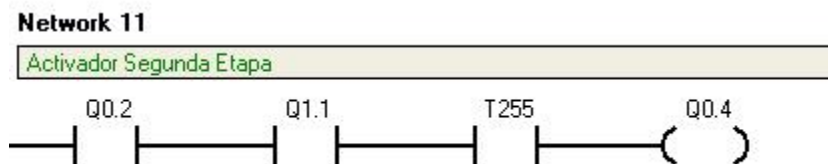
Figura 68. Redes 9 y 10 del programa del PLC



Fuente: Autores

En la figura 69 se define la última red del programa. En la red 11 se configura la salida de la segunda etapa de pintura, definiendo el tiempo total de accionamiento y el retraso de activación de las electroválvulas para reducir el desperdicio de materia prima.

Figura 69. Red 11 del programa del PLC



Fuente: Autores

6.3.2. Programa JAVA para Arduino Leonardo.

El microcontrolador Arduino Leonardo permite controlar de forma rápida, fácil y eficaz los giros, la velocidad y el accionamiento de los motores de las bandas transportadoras. Para éste programa se utilizó la librería "Stepper.h" definida por Arduino para el control de motores DC Paso a paso de 4 hilos.

En la figura 70 se configuran los parámetros iniciales del programa. Se incluye la librería “*Stepper.h*” para motores paso a paso, se define la cantidad de pasos que tienen los motores, se definen los pines de salida utilizados por cada motor paso a paso y los pines del motor DC.

Figura 70. Parámetros iniciales programa JAVA para Arduino Leonardo

```
ProyectoDefinitivo
#include <Stepper.h> // Librería para controlar motores paso a paso.

#define STEPS 200 // Número de pasos que necesita para dar una vuelta.

Stepper motor1(STEPS, 3, 4, 5, 6); // Nombre del primer motor paso a paso.
Stepper motor2(STEPS, 7, 8, 9, 10); // Nombre del segundo motor paso a paso.

int IN3 = 11; // Input3 del driver 3 conectada al pin 11 del Arduino.
int IN4 = 12; // Input4 del driver 3 conectada al pin 12 del Arduino.
int ENB = 13; // ENB del driver 3 conectada al pin 13 del Arduino.
```

Fuente: Autores

En la figura 71 se muestra la función “*setup*”, en la cual se configuran los pines que van al motor DC como salidas, se determina la velocidad de los motores paso a paso y la velocidad de transferencia de datos del computador al Arduino.

Figura 71. Función de configuraciones programa JAVA para Arduino Leonardo

```
ProyectoDefinitivo
void setup()
{
  pinMode (ENB, OUTPUT);
  pinMode (IN3, OUTPUT);
  pinMode (IN4, OUTPUT);

  motor1.setSpeed(60); // Velocidad del primer motor en RPM.
  motor2.setSpeed(60); // Velocidad del segundo motor en RPM.

  Serial.begin(9600);
}

```

Fuente: Autores

En la figura 72 se muestra la función “*loop*”, en la cual se ejecutan las instrucciones del programa. Se definen dos salidas digitales para determinar el sentido de giro del

motor DC, se envían pulsos por puerto PWM para establecer la velocidad del motor DC y se configuran los pasos a dar de cada motor paso a paso.

Figura 72. Función principal programa JAVA para Arduino Leonardo

```
void loop()
{
  digitalWrite (IN3, HIGH); // Se configura el sentido del giro del motor DC.
  digitalWrite (IN4, LOW); // Se configura el sentido del giro del motor DC.
  analogWrite(ENB,250); // Se configura la velocidad del giro del motor DC (Valor entre 1 y 255).

  motor1.setSpeed(60); // Velocidad del primer motor en RPM.
  motor2.setSpeed(60); // Velocidad del segundo motor en RPM.
  motor1.step(1); // Se mueve dos pasos y da permiso al siguiente motor.
  motor2.step(-3); // Se mueve dos pasos y da permiso al siguiente motor.
}
```

Fuente: Autores

6.4. Pruebas de funcionamiento

Al terminar de programar el Arduino y el PLC, se llevaron a cabo las pruebas de funcionamiento, arrojando los siguientes resultados:

6.4.1. Prueba de enclavamiento de inicio

En la figura 73 se observan los diferentes estados del prototipo, cuando los dos indicadores están apagados, el prototipo se encuentra desenergizado; cuando el indicador rojo se encuentra encendido, el proyecto está en stand-by; cuando el indicador verde se encuentra encendido, la estación de pintura automática está en funcionamiento.

Figura 73. Estados principales de funcionamiento del prototipo.



Fuente: Autores

6.4.2. Prueba de paro de emergencia

La figura 74 muestra que al activarse el pulsador Hongo que se encuentra a un costado del tablero de control, el prototipo detiene el proceso y enciende una alarma indicando que hubo un paro de emergencia.

Figura 74. Parada de emergencia del prototipo.



Fuente: Autores

6.4.3. Prueba de funcionamiento túnel de calor

A continuación, en la Figura 75, se pueden observar los datos del sistema de control de temperatura del túnel de secado. En la parte superior y de color rojo se muestra la temperatura actual dentro del túnel, en la parte inferior y de color verde se configura la temperatura a la que debe llegar dentro del mismo y en la esquina superior izquierda, un LED verde se enciende cuando se enciende la resistencia para calentar el túnel.

Figura 75. Pantalla de configuración sistema de control temperatura.

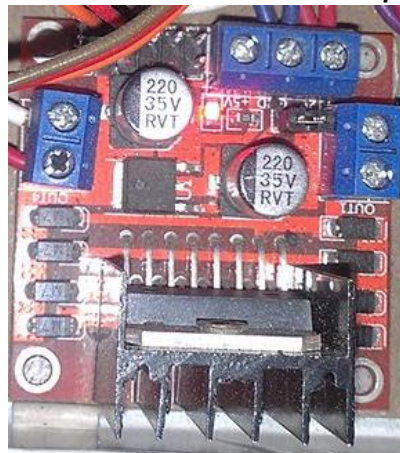


Fuente: Autores

6.4.4. Prueba de funcionamiento activación bandas transportadoras

En la figura 76, se muestra que en el driver se enciende un LED rojo cuando se activan sus salidas y se energizan los motores responsables del movimiento de las bandas transportadoras.

Figura 76. Driver activador del movimiento de las bandas transportadoras.



Fuente: Autores

En la figura 77, se muestra el bloque de madera que será procesado por la cabina de pintura este elemento tiene unas medidas de 6.5 cm en sus lados y una altura de 3.2 cm.

Figura 77 Cubo de madera a procesar.



Fuente: Autores

En la figura 78 se observa el prototipo final con el tanque de alimentación de pintura en la parte superior que provee pintura a las cuatro pistolas que usa el prototipo en secuencias con las respectivas electroválvulas par su debido control

Figura 78 Tanque de pintura, tablero eléctrico y de control del prototipo.



Fuente: Autores

En la figura 79 se detallan las cuatro electroválvulas para el control de aire (en la parte superior de la imagen), de pintura (en la parte media de la imagen) las pistolas usadas y el acrílico que encierra a todo el prototipo.

Figura 79 Electroválvulas de control de pintura y aire.



Fuente: Autores

En las pruebas realizadas (100 veces pasando el bloque por toda la estación) se llegó a un tiempo de proceso promedio de 1 minuto 30 segundos para que el bloque entre y salga de la estación, también se obtienen los tiempos de aspersión de pintura, éste queda en un promedio de 40 segundos, y por último el tiempo de secado promedio arrojado tras las pruebas es de 40 segundos.

Luego de varias pruebas de funcionamiento en general de todo el prototipo, se observa que el acabado de pintura del producto final cumple con los requerimientos establecidos previamente para el uso experimental académico al cual está destinado el proyecto.

7. CONCLUSIONES

Gracias al desarrollo del prototipo de estación de pintura automática acorde a los requerimientos de la celda de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO de la Unidad Central del Valle del Cauca, se suple la necesidad de entregar las piezas de madera pintadas con mejores acabados en el producto final de la línea de proceso; además, el proyecto funciona como herramienta para el desarrollo académico y de experimentación en cursos y actividades curriculares referentes a los temas de automatización y manufactura que se presenten en la Universidad.

El diseño de la cabina de pintura de éste prototipo es el resultado de las investigaciones realizadas para llevar a cabo el proyecto, siendo éste el método más utilizado en la industria para este tipo de trabajos, principalmente porque sus características se adaptan a casi cualquier tipo de labor que requiera pintar, además, permite controlar fácilmente los residuos tóxicos que puede generar el uso de algunos tipos de pinturas.

Se destaca el hecho de haber desarrollado el prototipo utilizando herramientas de software libre debido a que se logra alcanzar la meta establecida y se disminuyen costos de desarrollo del proyecto; además, los programas utilizados tienen interfaces cómodas e intuitivas para el usuario, brindando así facilidades de uso para las personas novatas o expertas en el manejo de este tipo de estaciones.

Finalmente, las pruebas del prototipo arrojaron resultados acertados y satisfactorios, puesto que cumple con los objetivos de una estación de pintura automática, que a su vez, demuestra que los resultados de una tarea realizada por un prototipo automático son más eficientes y constantes en calidad comparados con las tareas hechas por una persona. El resultado final de este proyecto brinda la posibilidad de mejoras en su eficiencia a futuro.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar futuras mejoras de eficiencia y de diseño al prototipo de estación de pintura automática, el cual es un elemento de aprendizaje de la facultad de Ingenierías de la UCEVA.

El tiempo transcurrido desde que entra el bloque a la estación de pintura hasta que sale pintado es de 1 minuto 30 segundos. Para incrementar la velocidad al proceso del prototipo, se debe realizar un estudio de reestructuración, siendo los motores de las bandas transportadoras y el sistema de secado los componentes más viables a mejorar.

En la estación de pintura automática del laboratorio GEIPRO, el producto a pintar tiene un solo tamaño, si se llega a establecer otro tamaño del bloque, se deben incorporar sensores ultrasónicos, hacer bandas transportadoras más anchas para la maniobrabilidad del cubo y crear otro programa para añadir otras funciones que haría más flexible el prototipo. También se recomienda incorporar una interfaz de usuario para observar con más detalle el proceso y manipularlo con mayor facilidad.

Para mejorar la calidad del acabado de la pintura, se debe implementar un sistema que deslice los aerógrafos hacia adelante y atrás para que haga dos barridos de pintura y programar pausas en la primera banda transportadora. El sistema puede ser electro-neumático o electro-mecánico.

El túnel de secado tarda aproximadamente treinta minutos en llegar a la temperatura ideal para que el proceso se realice óptimamente; para mejorar este aspecto, se recomienda cambiar el cable de fibra de carbón por una resistencia de calor. Se debe tener en cuenta la potencia que necesita dicha resistencia, puesto que la alimentación de ésta etapa del prototipo está limitada a 5 Amperios.

Para el correcto funcionamiento y evitar posibles taponamientos en el área de extracción y purificación del aire se recomienda el cambio de la espuma de filtrado cada 5 semanas de uso razonable para el cambio y otras funciones de manejo de la cabina de pintura ver el Anexo A

BIBLIOGRAFÍA

¿QUE ES EL AEROGRAFO? [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.hobbymex.com/feedback/tips/aerografo/aerograf.htm>

AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, EVOLUCIÓN Y RETOS EN UNA ECONOMÍA GLOBALIZADA. [En Línea] Inventum No. 6 Facultad de Ingeniería Uniminuto - junio de 2009 - ISSN 1909 – 2520 Paginas número 7 – 8. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2013]. Disponible en biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/download/37

BOLAÑOS, William. Proyecto de investigación Planta de manufactura flexible para el laboratorio de Ingeniería Industrial. [Fecha de consulta: 19 de octubre de 2013]. Unidad Central del Valle del Cauca.

BLOG SEAS [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.seas.es/blog/automatizacion/sensores-inductivos/>

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC). [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2016]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/299013/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

GAVIÑO, Ricardo H. Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB. Editorial PEARSON. Primera edición. Capítulo 1. México (2010).

IDA-STEP. [En línea]. [Traducción no oficial]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.ida-step.net/support/resources/about-step>

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. [En línea]. [Traducción no oficial]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.iec.ch/functionalsafety/>

INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION. [En Línea]. [Traducción no oficial]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.isa.org.sv/isa.php>

INVESTIGACIÓN APLICADA, INNOVACIÓN Y GESTIÓN TECNOLÓGICA. [En línea]. Politecnico Jaime Isaza Cadavid [Fecha de consulta: 14 de junio de 2016].

Disponible en

http://www.politecnicojic.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=739%3Afundamentos-rectores&catid=208%3Aplan-de-desarrollo-2010-2016&Itemid=455&limitstart=3

KALPAKJIAN, Serope. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. Editorial PEARSON EDUCACIÓN. Quinta edición. México (2008).

KUO, Benjamin C. Sistemas de Control Automático. Editorial PATIENCE HALLHISPANOAMERICANA S.A. Séptima edición. Capítulo 4 Página 160. México (1996).

LA WEB DE LA PINTURA. [En línea]. [Fecha de consulta: 10 de junio de 2016]. Disponible en <http://www.las-pinturas.com/aerografica> - [html http://www.las-pinturas.com/definicion-pintura.html](http://www.las-pinturas.com/definicion-pintura.html) - <http://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html>

MINISTERIO DE MINAS. [En línea]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Anexo_General_RETIE_Res_9_0708_30_de_agosto_2013_corregido_Resolucion_9_0907_25_de_octubre_de_2013.pdf

NISE, Norman S. Sistemas de Control Para Ingeniería. COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL. Tercera edición, Primera Reimpresión. Capítulo 1, Página 2. México (2004).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 3348. [En línea]. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2016]. Disponible en <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3348.pdf>

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna, Editorial PEARSON. Quinta edición. Capítulo 1, Página 1. Madrid (2010).

RUIZ MEDINA, Manuel Ildelfonso. Políticas Públicas En Salud y Su Impacto En El Seguro Popular En Culiacán, Sinaloa, México. [En línea]. Capítulo 4, Página 154. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2016]. Disponible en http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/cualitativo_cuantitativo_mixto.html

SEAT, S.A. Gestiones electrónicas. Sensores y actuadores Organización de Servicio. Editorial TECFOTO, S.L. Primera edición. Barcelona (1998).

ANEXO

ANEXO A

Manual de usuario del prototipo de estación de pintura automática para la celda de manufactura flexible del laboratorio GEIPRO.

1. Conecte el cable de alimentación a un tomacorriente que entregue 110 VAC.
2. Active la protección termomagnética uno y dos dentro del tablero de alimentación para energizar todos los componentes del prototipo.
3. Verifique que el depósito de pintura contenga suficiente material para trabajar, de no ser así, llenar el tarro con pintura.
4. Abra la válvula que regula el suministro de aire comprimido.
5. Verifique que en el tablero de control el indicador rojo esté encendido.
6. Retire la tapa de seguridad lateral donde se encuentran los aerógrafos y los sensores.
7. Con la ayuda de un bloque, verifique manualmente que los sensores capacitivos de proximidad se encuentran calibrados, de lo contrario, debe ajustar el rango de activación de cada sensor con un destornillador de pala pequeño y girando el pin que se encuentra junto al cable de ellos.
8. Vuelva a incorporar la tapa de seguridad lateral.
9. Establezca el setpoint del control PID de temperatura del túnel de secado, se recomienda configurar un valor desde 45°C hasta 55°C y esperar a que la temperatura del túnel sea la establecida.
10. Verifique que la estación anterior esté funcionando y suministrando bloques al tobogán de entrada del prototipo.

11. Presione una vez el pulsador verde del tablero de control y verificar que el indicador verde se encienda y el indicador rojo se apague.
12. Active la protección termomagnética tres del tablero de alimentación para energizar el sistema de extracción de aire en la parte inferior del prototipo.
13. Al finalizar el ciclo de trabajo, vuelva a retirar la tapa lateral donde se encuentran los aerógrafos y sensores.
14. Limpie el depósito de pintura con diluyente (thinner) y un trapo.
15. Cuando el depósito de pintura esté limpio, introduzca diluyente (thinner) y active los sensores capacitivos de proximidad hasta que el depósito de pintura se encuentre vacío.
16. Acomode la tapa lateral previamente retirada.
17. Una vez terminado el ciclo de limpieza de los canales de pintura, presionar el botón rojo, desenergice el prototipo desactivando la protección termomagnética del tablero de alimentación y desconecte el cable de alimentación.
18. Para el cambio de la espuma para el filtrado del aire retire los cuatro tornillos que sujetan la bandeja a la caja del filtro, deslice la bandeja que contiene la espuma hacia arriba y proceda a cambiarla.