



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# **MASTER EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Modernización de una Dispermix**

Autor: D. Francisco de Borja Lanza Ortega  
Tutor: D. Eduardo Julio Moya de la Torre  
Tutor empresa: D. José María Duque

Valladolid, Mayo, 2019



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



**Resumen:**

Este trabajo de fin de máster se centra en el control de procesos de un dispersor, así como las modificaciones necesarias para poder realizar su control y lograr una renovación de la máquina.

En concreto se trataría de poder controlar la homogeneidad del producto y reducir el tiempo de ciclo.

Para poder realizar estos dos puntos se contará con un viscosímetro para poder controlar la homogeneidad del fluido, un variador de velocidad de par constante para controlar el punto en el que hay una mayor viscosidad, un elevador hidráulico para poder posicionar el dispersor en la posición deseada y un sensor laser para poder controlar la posición en la que se encuentra.

**Palabras clave:**

Control de procesos, dispersor, viscosímetro.

**Abstract:**

This end-of-master project focuses on the process control of a disperser as well as the necessary modifications to be able to carry out its control and achieve a renovation of the machine.

In particular, it would be to be able to control the homogeneity of the product and reduce the cycle time.

To be able to make these two points we will use a viscometer to control the homogeneity of the fluid, a speed regulator of constant torque to control the point where there is a higher viscosity, a hydraulic elevator to be able to position the disperser in the desired position and a laser sensor to be able to control the position in which it is.

**Keywords:**

Process control, disperser, viscometer.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Electrónica Industrial y Automática

### **Agradecimientos:**

Quisiera agradecer a mi familia por todo el apoyo que me han dado a lo largo de todos ellos a pesar de todas las dificultades por las que hemos pasado.

Agradecer también a mi tutor en la fábrica de PPG José María Duque por la oportunidad de trabajar con él y poder aprender algo de la cantidad de cosas que sabe.

Y por último agradecer a mi tutor de máster de la universidad de Valladolid, Eduardo Moya por ayudarme a redactar todo el documento.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## Contenido

<b>1 Introducción y objetivos</b> .....	15
1.1 Contextualización del trabajo.....	15
1.2 Descripción de la empresa.....	16
1.3 Objetivos.....	17
1.4 Fases.....	19
1.4.1 Fase Previa.....	20
1.4.2 Fase de desarrollo.....	21
1.4.3 Fase de puesta en marcha.....	22
1.5 Justificación del trabajo.....	22
1.6 Organización de la memoria.....	24
<b>2 Historia del Arte</b> .....	29
2.1 Análisis histórico.....	29
2.2 Las mayores empresas fabricantes de pintura del mundo.....	32
2.3 Análisis del sector en España.....	33
2.4 Explicación del modelo de producción.....	34
2.5-Impacto medioambiental.....	36
2.6 Efectos del impacto medioambiental.....	38
2.6.1 Contaminación de aguas.....	38
2.6.2 Generación de residuos.....	39
2.6.3 Contaminación Atmosférica.....	40
2.6.4 Contaminación del suelo.....	41
2.6.5 Energía.....	41
2.6.6 Ruido.....	41
2.7 Instalación actual y cambios planeados.....	41
<b>3 Instalación</b> .....	45
3.1 Dispermix.....	45
3.2 Autómata programable.....	46
3.3-Variador de frecuencia.....	46
3.4 Sensor de temperatura.....	50
3.5 Viscosímetro.....	51
3.6 Sensor laser.....	53
3.7 Transmisor de presión.....	55
<b>4 Descripción del hardware</b> .....	59
4.1 Componentes del autómata.....	59
4.1.1 Unidad central de procesamiento.....	60
4.1.2 Fuente de alimentación.....	63
4.1.3 Modulo de entradas digitales.....	64



4.1.4 Modulo de salidas digitales .....	66
4.1.5 Modulo de entradas analógicas.....	68
4.1.6 Módulo de salidas analógicas.....	70
4.2 Número de variables a utilizar .....	72
<b>5 Programación.....</b>	<b>75</b>
5.1 Descripción del software utilizado .....	75
5.2 Objetivo de funcionamiento del sistema.....	75
5.2 Diagramas de flujo .....	76
5.3 Programación del autómatas Micrologix 1400.....	79
5.4 Programación del SCADA RSView 32.....	91
5.4.1 Pantalla de Inicio .....	91
5.4.2 Pantalla principal.....	92
5.4.3 Gestor de alarmas .....	98
5.4.4 Datos del proceso.....	98
5.4.5 Control manual.....	99
5.4.6 Gráfica .....	101
5.5 Programación del regulador de frecuencia Powerflex 525.....	101
<b>6 Fases .....</b>	<b>109</b>
6.1 Fase previa.....	109
6.1.1 Revisión de la instalación.....	110
6.1.2 Revisión de los planos tanto de la máquina como de la instalación.....	110
6.1.3 Estudio de las posibles mejoras .....	112
6.1.4 Estudio de las ofertas del mercado.....	112
6.1.5 Realización del presupuesto inicial.....	112
6.1.6 Presentación del proyecto a la empresa y su validación.....	114
6.2 Fase de desarrollo.....	114
6.2.1 Creación de las tareas necesarias para la renovación, del horario de trabajo y especificaciones de las operaciones .....	115
6.2.2 Revisión y actualización de los planos.....	116
6.2.3 Realización del programa del autómatas .....	116
6.2.4 SCADA.....	116
6.2.5 Simulación .....	117
6.2.6 Autorizaciones de las entidades competentes .....	117
6.3-Fase de puesta en marcha .....	118
6.3.1 Realización de las modificaciones .....	119
6.3.2 Toma de datos .....	119
6.3.3 Ajuste del sistema.....	119
6.3.4 Control de la calidad.....	120
6.3.5 Modificaciones finales del SCADA.....	120



6.4 Fase de documentación.....	120
<b>7 Presupuestos.....</b>	<b>123</b>
7.1 Mediciones de materiales.....	123
7.2 Medición de tiempos .....	124
7.3 Justificación de los precios de los materiales.....	125
7.4 Justificación de la mano de obra. ....	126
7.5 presupuesto parcial relativo a materiales .....	127
7.6 Presupuesto parcial relativo a operaciones de montaje.....	128
7.7 Presupuesto completo.....	129
<b>8-Resultados .....</b>	<b>133</b>
8.1-Estado actual.....	133
8.2-Beneficios previstos .....	133
8.3-Amortización .....	133
<b>9-Conclusiones .....</b>	<b>137</b>
9.1-Objetivos logrados .....	137
9.2-Linea futuras.....	137
9.3-Aprendizaje .....	137
<b>10 Bibliografía.....</b>	<b>141</b>
10.1 Enlaces consultados.....	141
10.2 Libros y artículos consultados.....	143
<b>11 Anexo A</b>	
<b>12 Anexo B</b>	
<b>13 Anexo C</b>	



## Índice de tablas:

Tabla 1 Objetivos del proyecto .....	17
Tabla 2 Fases del Proyecto .....	19
Tabla 3 Etapas de la fase previa.....	20
Tabla 4 Etapas de la fase de desarrollo .....	21
Tabla 5 Etapas de la fase de puesta en marcha .....	22
Tabla 6 Simplificación del presupuesto .....	23
Tabla 7 Listado de mayores fabricantes de pintura.....	32
Tabla 8 Vertidos en los procesos de fabricación de pintura .....	38
Tabla 9 Residuos en la fabricación de pinturas.....	40
Tabla 10 Contaminación atmosférica producida en la fabricación de pintura .....	41
Tabla 11 Componentes de la actualización .....	45
Tabla 12 Características PT100 .....	51
Tabla 13 Componentes del autómeta programable.....	60
Tabla 14 Clasificación de los autómetas de la casa Rockwell .....	62
Tabla 15 Características del módulo de entradas digitales .....	64
Tabla 16 Tipos de salidas digitales .....	66
Tabla 17 Características del módulo de salidas digitales .....	67
Tabla 18 Características del módulo de entradas analógicas .....	68
Tabla 19 Características del módulo de salidas analógicas .....	70
Tabla 20 Diagrama de navegación.....	91
Tabla 21 Configuración de E/S 1 [25].....	102
Tabla 22 Configuración de E/S 2 [25].....	103
Tabla 23 Configuración del bloque de terminales 1 [25] .....	104
Tabla 24 Configuración del bloque de terminales 2 [25] .....	104
Tabla 25 Configuración del control de la velocidad [25] .....	105
Tabla 26 Configuración de la señal de arranque [25].....	105
Tabla 27 Configuración de la velocidad máxima [25] .....	106
Tabla 28 Fases del proyecto .....	109
Tabla 29 Sub-fases de la fase previa .....	110
Tabla 30 Listado de materiales .....	113
Tabla 31 Sub-fases de la fase de desarrollo.....	115
Tabla 32 Sub-fases de la fase de la puesta en marcha .....	119
Tabla 33 Listado de materiales .....	124
Tabla 34 Medición de tiempos .....	125
Tabla 35 Lista Material/Precio .....	126
Tabla 36 Presupuesto parcial relativo a materiales .....	127
Tabla 37 Presupuesto parcial relativo a las labores de montaje .....	128
Tabla 38 Presupuesto total .....	129



## Índice de ilustraciones:

Ilustración 1 Logo PPG.....	16
Ilustración 2 Tipos de cabezales para dispersoras [8] .....	31
Ilustración 3 Proceso de fabricación de pintura [31].....	35
Ilustración 4 Residuos en los procesos de fabricación de pintura [31].....	37
Ilustración 5 Maquina instalada en la fábrica .....	46
Ilustración 6 Powerflex 755 [13] .....	47
Ilustración 7 Funcionamiento PWM [9].....	48
Ilustración 8 Paso por puente de diodos [9].....	48
Ilustración 9 Rectificación de la señal eléctrica [9] .....	49
Ilustración 10 Creación de PWM mediante mosfet [9] .....	49
Ilustración 11 Resultado final PWM [9] .....	50
Ilustración 12 PT100 [14] .....	50
Ilustración 13 Funcionamiento de un viscosímetro [10] .....	53
Ilustración 14 Viscosímetro de la casa Endress+Hauser [15] .....	53
Ilustración 15 Funcionamiento de un detector de un detector laser [11] .....	54
Ilustración 16 Detector de distancia por láser de la casa ABB [16] .....	54
Ilustración 17 Transmisor de presión de la casa Rosemount [17] .....	55
Ilustración 18 Funcionamiento de un detector de presión [12].....	55
Ilustración 19 Proceso de funcionamiento del autómatas programable .....	61
Ilustración 20 Organización interna del autómatas programable.....	62
Ilustración 21 CompactLogix 5370-L33ER [18] .....	63
Ilustración 22 Fuente de alimentación [19] .....	64
Ilustración 23 Módulo 1769-IQ16 [20].....	65
Ilustración 24 Estructura interna del módulo 1769-IQ16 [32].....	65
Ilustración 25 Módulo 1769-OB16 [21].....	67
Ilustración 26 Estructura interna del módulo 1769-OB16 [33].....	68
Ilustración 27 Módulo 1769-IA16 [22].....	69
Ilustración 28 Estructura interna del módulo 1769-IA16 [34].....	69
Ilustración 29 Módulo 1769-OA16 [23].....	71
Ilustración 30 Estructura interna del módulo 1769-OA16 [35] .....	71
Ilustración 31 Representación de la dispersora.....	75
Ilustración 32 Diagrama de flujo 1 .....	77
Ilustración 33 Diagrama de flujo 2 .....	78
Ilustración 34 Diagrama interno de los programas del autómatas .....	80
Ilustración 35 Subrutinas (LAD 2).....	81
Ilustración 36 Alarma por temperatura (LAD 3) .....	82
Ilustración 37 Aceleración en rampa (LAD 4).....	83
Ilustración 38 Comprobación de la estabilidad (LAD 6).....	84
Ilustración 39 Control de la bomba y las válvulas (LAD 7) .....	85
Ilustración 40 Control del esfuerzo máximo (LAD 9) .....	86
Ilustración 41 Control de subidas y bajadas (LAD 10) .....	87
Ilustración 42 Control manual (LAD 8) .....	88
Ilustración 43 Parada de emergencia (LAD 19).....	89
Ilustración 44 Alarma de nivel (LAD 20) .....	90
Ilustración 45 Página de inicio .....	91
Ilustración 46 Página de inicio con usuario registrado.....	92
Ilustración 47 Pantalla principal sin usuario.....	92
Ilustración 48 Pantalla principal con usuario "operario" .....	93
Ilustración 49 Pantalla principal con usuario "Administrador".....	93
Ilustración 50 Pantalla principal en mitad del proceso .....	94
Ilustración 51 Pantalla principal con error en la viscosidad .....	94
Ilustración 52 Pantalla principal con error de viscosidad como Administrador .....	95
Ilustración 53 Pantalla principal con el fin del proceso.....	95



Ilustración 54 Pantalla principal en edición.....	96
Ilustración 55 Pantalla de alarma de temperatura .....	97
Ilustración 56 Pantalla principal con el cowless fuera del deposito .....	98
Ilustración 57 Pantalla de alarmas .....	98
Ilustración 58 Pantalla de datos del proceso .....	99
Ilustración 59 Pantalla de control manual en edición.....	99
Ilustración 60 Pantalla de control manual en el programa.....	100
Ilustración 61 Programa de control manual en funcionamiento.....	100
Ilustración 62 Pantalla de recolección de datos mediante una gráfica.....	101
Ilustración 63 Localización de la dispersora.....	111
Ilustración 64 Diagrama de Gant .....	115
Ilustración 65 Pantalla de inicio del programa RSLogix 500 .....	116
Ilustración 66 Pantalla del SCADA .....	117
Ilustración 67 Diagrama de la maqueta para la simulación .....	117



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 1-INTRODUCCIÓN



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



# 1 Introducción y objetivos

## 1.1 Contextualización del trabajo

Este trabajo se enmarca en el contexto de la realización del Trabajo Fin de Máster correspondiente a la titulación de Máster en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Universidad de Valladolid. Corresponde al departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, siendo supervisado por profesores titulares del mismo.

Este trabajo de fin de máster se centrará en la mejora y actualización de una dispersora de la marca dispermix. La funcionalidad de esta máquina es la de mezclar a la velocidad a la altura deseada una serie de componentes con el fin de lograr una mezcla homogénea.

El objetivo de este trabajo se centra en el control de procesos de un dispersor de una fábrica de pinturas, así como la renovación de esta para poder funcionar de forma más eficiente. Para con ello lograr una reducción del tiempo de proceso de la realización de la mezcla y lograr reducir el consumo energético del dispersor, ya que cuenta con un motor de 100cv, así como eliminar el importante cuello de botella que suponen todo este tipo de máquinas en cualquier fábrica de pintura.

En la actualidad cuando se desea realizar una mezcla, los operarios vierten en el dispersor todos los elementos que desean que formen parte de ella y se la deja funcionando un tiempo determinado. Esto resulta muy ineficiente debido a que es posible que la mezcla pueda estar lista tiempo antes o que necesite más tiempo.

También existe el posible error del mismo operario que vierta los componentes en un orden inadecuado. En este tipo de mezclas se vierten siempre los elementos más densos al final para que las densidades ayuden a la homogeneización de la mezcla. Sin embargo, si el operario se equivoca podría darse el caso que vierta los elementos más densos los primeros y por ello sea imposible realizar una correcta mezcla.

Para poder resolver estos problemas se recurrirá a un viscosímetro para poder comprobar la calidad de la mezcla. Este viscosímetro se encontrará al lado de una bomba conectada al fondo del depósito de la mezcla. De tal forma que al activar la bomba la mezcla pase por el viscosímetro para comprobar su calidad y al salir del viscosímetro se vuelva a verter la mezcla en la superficie de la mezcla del depósito resolviendo de esta forma un posible error en el orden de vertido de los componentes de la mezcla.

A parte de estos cambios también se realizará otra modificación para poder reducir el tiempo de proceso. Este cambio se encuentra relacionado con el variador de velocidad de par constante. A medida que se realiza la mezcla se hará que las hélices del dispersor se eleven y bajen por todo el depósito y gracias al variador de velocidad de par constante será posible poder saber la densidad de la mezcla en cada punto ya que cuanto mayor sea la oposición que ofrece la mezcla en un punto al motor mayor será su densidad.

Por último, también hay que tener en cuenta que muchos de los elementos empleados en la mezcla son productos inflamables, por lo cual es necesario cumplir la correspondiente normativa ATEX (Atmosferas explosivas). Por ello aparte de que todos los elementos tendrán



que estar adecuados para trabajar en atmosferas explosivas y tener su correspondiente calificación ATEX, al depósito de las mezclas se le ha añadido un sensor de temperatura para asegurarnos que con la velocidad de la mezcla no se caliente lo suficiente como para poder inflamar los productos que hay en su interior.

## 1.2 Descripción de la empresa

PPG, con sede en Pittsburgh, es un fabricante a escala mundial de pinturas, resinas, vidrios, productos plásticos, productos químicos, productos ópticos y fibra de vidrio.



Ilustración 1 Logo PPG

PPG, con sede en Pittsburgh, es un fabricante a escala mundial de pinturas, resinas, vidrios, productos plásticos, productos químicos, productos ópticos y fibra de vidrio.

PPG cuenta en estos momentos con más de 140 fábricas y opera en más de 60 países. Las ventas solo en 2009 llegaron a la suma de \$ 12.2 mil millones.

La historia de PPG se remonta a hace más de 125 años. Cuando en 1883, el Capitán John B. Ford y John Pitcairn establecieron la Pittsburgh Plate Glass Company (PPG). Se instalaron en Creighton, Pensilvania a 20 millas al norte de Pittsburgh.

En sus inicios la empresa se convirtió en la primera en E.E.U.U. en la fabricación de vidrio plano grueso de alta calidad, y también la primera en alimentar los hornos de fusión con gas natural. Esta innovación logro generalizar el uso del gas como carburante de combustión limpia.

En 1900 la empresa se convirtió en la primera empresa estadounidense en expandir sus operaciones a Europa comprando una fábrica de vidrio en Bélgica.

En 1920 la empresa se introduce en el mundo del automóvil debido a que los automóviles comienzan a utilizar el modelo de sedan.

Ya en 1940 comienza a producir cristales para aviones y comienza a desarrollar resinas sintéticas que conducen a plásticos, pinturas de alto rendimiento y revestimientos industriales.

Desde entonces hasta la actualidad PPG no ha parado de innovar y de expandirse, ya sea con nuevos productos como con innovaciones lógicas en el sector gracias a su departamento de

I+D. Gracias a lo cual hoy en día 2 de cada 3 coches fabricados en Europa y Norteamérica están relacionados con PPG.

### 1.3 Objetivos

Los objetivos de la automatización del proceso de mezcla y de renovación de la máquina actual son:



Tabla 1 Objetivos del proyecto

- **Reducción del tiempo del proceso:** La reducción del tiempo del proceso permitirá eliminar el dispersor como cuello de botella en la fábrica de pinturas. Además, al reducir el tiempo del proceso se logran una serie de objetivos secundarios que a pesar de no ser de los principales objetivos del trabajo son muy importantes:



- Ahorro energético: el dispersor cuenta con un motor de 100 cv, al reducir el tiempo de uso logramos ahorrar una cantidad considerable de energía.
- Reducción del tiempo de producción.
- Mejora de la calidad de las pinturas.
- Aumento de la productividad.
- **Evitar errores humanos:** gracias a la instalación del viscosímetro que conecta la parte inferior del depósito con la superior se logra evitar un posible fallo por parte del operario.
- **Estudio de los planos eléctricos:** Se deberá hacer un análisis en profundidad de los planos eléctricos existentes de la instalación actual, así como elaborar unos nuevos planos eléctricos para poder acomodar en la instalación actual las nuevas actualizaciones.
- **Estudio del funcionamiento:** Se realizará un análisis del modo de utilización del equipo actual por parte del operario, así como del método del método de introducción de materiales a la máquina para la mezcla.
- **Estudio del sistema hidráulico:** La máquina cuenta con un sistema hidráulico para poder elevar y descender la dispersora. Esta capacidad deberá ser estudiada con detenimiento para poder determinar la velocidad de ascensión, así como la vida útil de la bomba del sistema. Ya que con la actualización esta bomba adquirirá un papel más activo.
- **Estudio y realización del software del autómata programable:** Debido a ser una empresa internacional, los autómatas que se emplean en las instalaciones se encuentran estandarizados, permitiendo la empresa usar solamente autómatas de la familia Rockwell. Por ello se debe estudiar el entorno de programación de la casa Rockwell con el fin de emplear estos autómatas en la actualización de la máquina.
- **Realización de la documentación técnica necesaria:** Es necesario rellenar una serie de documentación debido tanto a las condiciones especiales de la localización de la máquina en la instalación, como la documentación necesaria para coordinar todos los recursos necesarios para realizar el proyecto y su aprobación.
- **Realización de la interfaz HMI (Human Machine Interface):** El control de la máquina hasta ahora se realiza mediante una botonera que forma parte de la máquina. Con la actualización se cambiará este control por un SCADA situado en una sala de control. Esta pantalla se realizará siguiendo los estándares de la empresa e intentando resultar en una forma de control que resulte intuitiva al operario.
- **Estudio de las necesidades de la industria:** Para las modificaciones de la máquina se tendrá en cuenta las características intrínsecas de la máquina, así como todos los puntos de posible mejora, así como la priorización de todos aquellos puntos que resulten más beneficiosos.



Para poder realizar los objetivos descritos anteriormente se necesitará cumplir los siguientes requerimientos:

- Control de la calidad de la mezcla mediante el viscosímetro.
- Control de la densidad de la mezcla mediante el variador de velocidad de par constante.
- Control de la posición del dispersor mediante un sistema neumático y un sistema de posición basado en un sensor laser.
- Elaboración de un sistema de control mediante un autómatas programable.
- Elaboración de un interfaz mediante un "SCADA".
- Se asegura que la mezcla no supere la temperatura máxima gracias a un sensor de temperatura.

#### 1.4 Fases

En este apartado se procede a explicar las diferentes fases por las cuales se ha pasado para poder realizar el Trabajo de Fin de Master. Aquí se explicarán de forma breve y concisa las diferentes fases y más adelante, en el capítulo 6 Fases, se explicarán de forma más detallada y concisa cada una de las fases, así como diferentes sub-fases dentro de ellas.

A continuación, se muestran las fases del proyecto y sus correspondientes sub-fases:

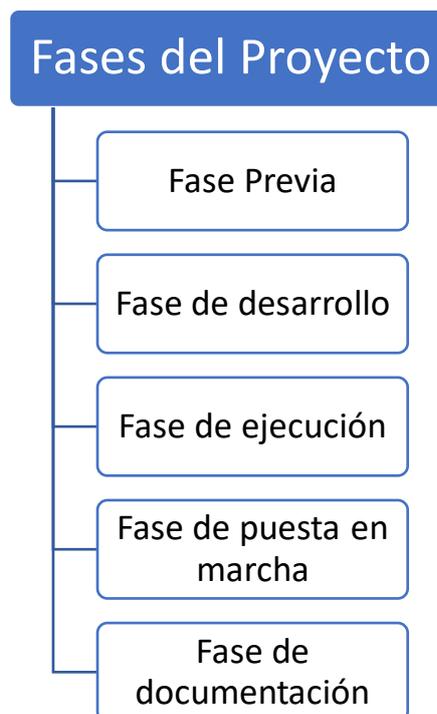
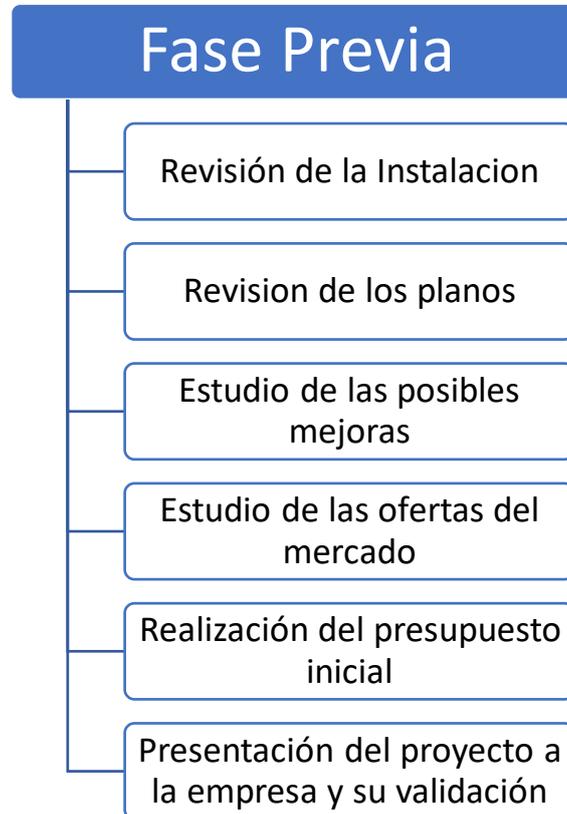


Tabla 2 Fases del Proyecto



### 1.4.1 Fase Previa



*Tabla 3 Etapas de la fase previa*



#### 1.4.2 Fase de desarrollo

### Fase de Desarrollo

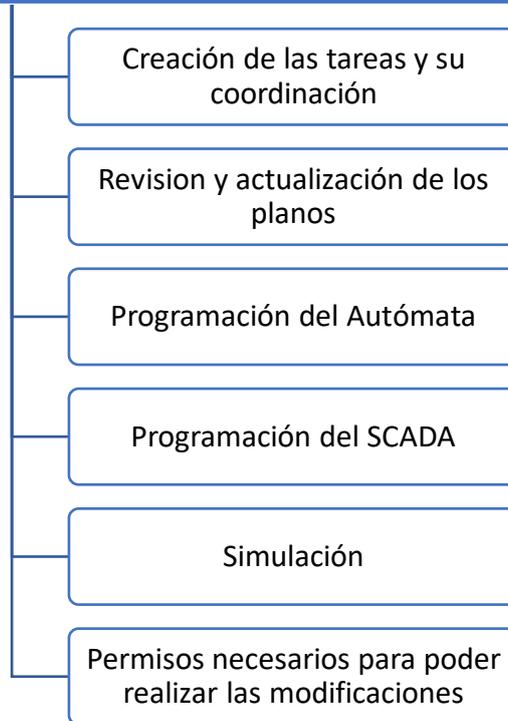


Tabla 4 Etapas de la fase de desarrollo

### 1.4.3 Fase de puesta en marcha

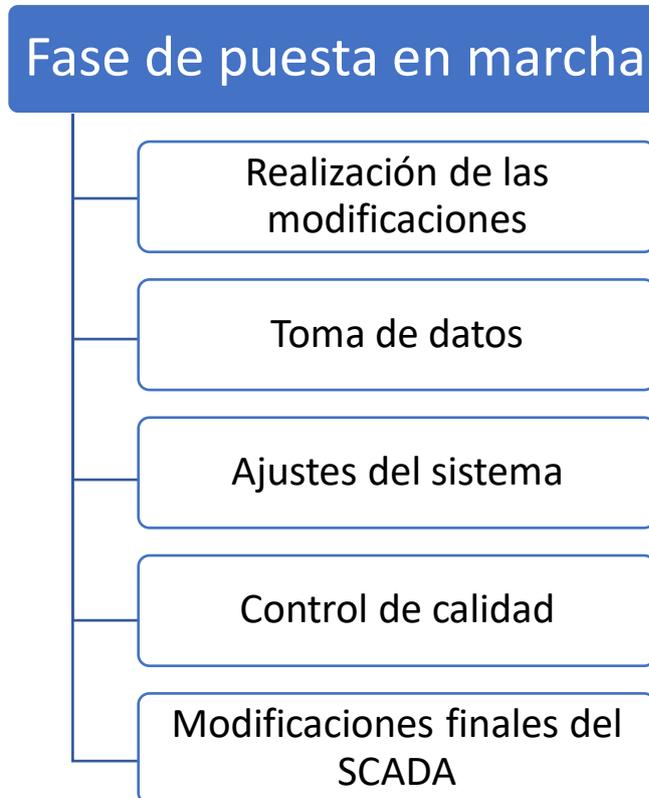


Tabla 5 Etapas de la fase de puesta en marcha

### 1.5 Justificación del trabajo

Las empresas se enfrentan hoy más que nunca al reto de poder asumir fuertes cambios, no únicamente sociales, sino también del entorno, tecnológicos, nuevas regulaciones y legislaciones y recursos del capital entre otros.

Y como si esto no fuese suficiente ahora competimos en una economía global donde a solo un “click” se puede comprobar la gama de productos, sus calidades y precios de cualquier producto en cualquier lugar del mundo. Esto coloca a las empresas en un ambiente competitivo muy alto.

Este ambiente coloca a las empresas en una posición complicada. Por un lado, es posible que surjan otros fabricantes del mismo producto pero que a pesar de tener los mismos procesos logren producir más barato reduciendo en salario de los trabajadores y en medidas de seguridad. Sin embargo, también a medida que se vaya automatizando la fábrica mayor será la eficiencia y rapidez de la fábrica conllevando un aumento de producción que no podrían realizar otros de diferente manera logrando con ello competir con otras empresas de una manera más fuerte.



Desde un punto de vista de un ingeniero se ve que se puede mejorar aún más el sistema actual de fabricación de pintura gracias a la automatización y renovación del dispersor de pintura. En la actualidad el dispersor de pintura supone el mayor cuello de botella de producción, por ello debería ser una de nuestras mayores prioridades intentar reducir tanto como sea posible el tiempo de funcionamiento de estas máquinas.

Suponiendo que la máquina por cada mezcla toma alrededor de 2h. El motor de 100cv que posee la dispersora sería en kw/h 75.54. Esto se cumple solo si las pérdidas son casi nulas, sin embargo, el dispersor actual cuenta con un sistema de cambio de velocidad mecánico lo cual produce una pérdida de energía considerable. Por lo tanto, suponiendo que la máquina tiene unas pérdidas aproximadas del 24% podemos calcular que el consumo energético sería de 93.67 kw/h, y siendo en España el precio del kw/h a 0.161 € sería que cada mezcla costaría 30.16€.

Con el nuevo sistema se lograría reducir el tiempo del proceso alrededor de un 50%, pero no solo eso, sino que también se lograría reducir las pérdidas de potencia al sustituir el sistema actual de cambio de velocidades por un variador de velocidad. Con todo ello suponiendo que el tiempo de mezcla se reduzca de media a 1 hora y que las pérdidas de potencia son reducidas a un 14% se puede calcular que el precio de cada mezcla resulta en aproximadamente 13.86€.

Teniendo en cuenta que la máquina está funcionando las 24h del día, la dispersora actual produce un costo diario de 723.84€ lo que supone al mes 22439.04€. Con el sistema actual se lograría reducir el gasto diario a 332,64€ lo que supondría al mes 10311.84€. El ahorro mensual supondría ya 12127.2€.

Siendo los precios de los componentes:

Componentes necesarios:	
Nombre:	Precio:
LLT 100 ABB	2317,00€
Powerflex 750	3216,00€
Motor de 100cv	2459,00€
Sensor de viscosidad	2925,00€
Bomba del sensor de viscosidad	1498,00€
Otros elementos	1920,30€
Precio total:	17.106,30€

Tabla 6 Simplificación del presupuesto

Esta tabla contiene un resumen de los precios. Para poder comprobar el precio de los elementos de forma detallada se podrán comprobar en los anexos.



Como se puede comprobar gracias a la tabla en tan solo dos meses ya se habría logrado amortizar la inversión y eso solo teniendo en cuenta el ahorro energético, a esto también habría que tener en cuenta el aumento de la producción y por ello de las ganancias.

Se debe de tener en cuenta que no se necesitaría un nuevo autómatas ya que se usaría uno ya existente lo cual supone un ahorro considerable y lo único necesario sería la programación del autómatas al cual se le deberán añadir las correspondientes pantallas necesarias para el control de la dispersora.

También se debe tener en cuenta que la dispersora actual se encuentra completamente amortizada, es decir lo único que hace es generar beneficios. Con estas mejoras se lograría actualizar la máquina a una versión moderna la cual la misma máquina con las mismas funciones costaría 220.000€.

## 1.6 Organización de la memoria

La memoria consta de diferentes capítulos para que de esta forma resulte más fácil encontrar la información, así como su comprensión. La memoria está organizada de la siguiente forma:

### **1-Introducción:**

Breve resumen del objetivo de todo el trabajo de fin máster, así como una breve introducción a los puntos más relevantes de todo el trabajo.

### **2-Estado del Arte:**

Descripción del estado actual del mercado, de la tecnología, de la historia y la competencia existente en el sector de las pinturas respecto a la dispersora y su entorno.

### **3-Instalación:**

Se realiza una descripción detallada de las condiciones de la instalación previas al desarrollo de la actualización, así como de los elementos que se emplearán en la actualización de la máquina y su funcionamiento.

### **4-Hardware:**

Descripción de los componentes y las características del autómatas programable como de sus módulos de expansión. También se incluye un listado con todas las marcas empleadas.

### **5-Programación:**

Se muestra todo el programa empleado para la actualización de la máquina. Así como una breve descripción de su funcionamiento.

### **6-Fases:**

Desarrollo de las diferentes fases por las cuales se ha procedido para poder lograr un desarrollo del proyecto.



**7-Presupuesto:**

Desglose de todos los componentes y mano de obra para determinar el gasto total.

**8-Resultados:**

Resultados obtenidos de la actualización de la máquina.

**9-Conclusiones:**

Conclusiones basadas en los resultados obtenidos respecto a los objetivos planteados y posibles mejoras que se podrían llevar a cabo en el futuro.

**10-Bibliografía:**

Origen de la información empleada para el desarrollo del trabajo de fin de máster.

**11-Anexos:**

Información complementaria utilizada en el desarrollo del trabajo de fin de máster.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 2-HISTORIA DEL ARTE



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## 2 Historia del Arte

### 2.1 Análisis histórico

Antes de centrarnos en el objeto de estudio principal de este trabajo, procedemos a hacer una pequeña introducción al desarrollo de la pintura a lo largo de la historia, así como de las herramientas empleadas para poder elaborarla.

La historia de la pintura comienza en las cuevas del paleolítico donde los hombres de las cavernas mezclaban óxido de hierro con terrígenos para lograr una mezcla con la que lograr pintar en las paredes.

Mucho tiempo más tarde comenzarían a aparecer nuevas pinturas, pero esta vez serían mezclas de huevo, agua y diversas tierras de diferentes colores (óxidos de hierro naturales); sin embargo, también se empleó sangre de animales, savia de plantas y diversos frutos.

Los avances más importantes realizados en la pintura antigua fueron realizados por los egipcios que hace 3000 años empezaron a emplear para la realización de pintura una diversidad de pigmentos nunca vista. Entre ellos podemos encontrar: lapislázuli (azul), zurita (verde), óxido de hierro (ocre rojo, ocre amarillo), yeso (blanco), malaquita (verde) y oropimente (amarillo). Hay que tener en cuenta además que los egipcios fueron los primeros en implantar un sistema de escritura utilizando tinta gracias a los pergaminos.

Hasta este momento todas las culturas y civilizaciones del mundo utilizaban el mismo método de fabricación a pesar de que cada uno de ellos utilizó diferentes ingredientes.

La forma de creación de pinturas se basaba en la mezcla de diferentes elementos con pigmentos de diferentes colores (que en muchos casos debían ser molidos) y se mezclaban con un disolvente, ya fuese agua, huevo o savia de un árbol. Sin embargo, a pesar del avance que se podía percibir en la calidad y en la diversidad de pinturas no se realizó ninguna mejora en las herramientas de su fabricación.

En el 2500 a.c. los griegos desarrollaron la primera pintura blanca. El proceso de elaboración era el de hacer reaccionar el plomo con el vinagre.

Con todo ello en el 800 a.c. se elaboró la primera guía de pinturas la cual ya describía la fabricación de pinturas mediante resinas molidas en aceite caliente secante.

El siguiente punto importante sucedió en el 400 a.c. en el cual, en Japón se comenzó a emplear el uso de lacas en pinturas incrementando la capacidad de estas a resistir el paso del tiempo.

Hasta ahora la pintura no era un elemento común entre la gente sencilla, sino que solo se la permitía la gente de alto poder económico dentro de la sociedad.

Esto cambiaría con el paso del tiempo a medida que la población mundial comenzaba a crecer y a comerciar entre diferentes culturas e ir a guerras de mayor escala y más organizadas surgiendo por ello la necesidad de recubrimientos decorativos y de protección. De esta forma podemos observar que gracias al comercio se logró llevar a cabo una gran implantación del uso de colores ya sea en forma de tintes y pinturas. Esto es muy fácil de entender si como por



ejemplo entendemos que todos los soldados del imperio romano tenían escudos iguales con colores rojo y amarillo.

Sin embargo, a pesar de la gran revolución en el empleo de pinturas, la forma de elaboración de ellas no había cambiado mucho. Los morteros se sustituían por molinos y en vez de mezclarlo en un pequeño recipiente se mezclaba en un gran depósito en el suelo toda la mezcla.

En los siguientes 1000 años no sucedió nada digno de mención, hasta que en 1847 se creó la primera resina artificial. Este polimerizado fue descubierto por Berzelius el cual por accidente calentó glicerina y ácido tartárico. No tardó mucho en salir la siguiente resina artificial, ya que en 1853 Berthelot logró crear la segunda resina artificial preparando glicerina con ácido canfórico. Y ya en 1912 se empezaron a emplear pinturas hechas con resinas de fenol formaldehído para aislamientos eléctricos.

El verdadero cambio en la elaboración de las pinturas y sobre todo en la forma de hacerlas se llevó a cabo en el siglo XX gracias a la primera y la segunda revolución industrial.

Comenzando con el desarrollo de la goma de Esther, se pasó a un gran auge en la investigación de la química industrial, que conllevó la sustitución de los aglutinantes tradicionales por resinas sintéticas.

Después de la segunda guerra mundial se empezaron a realizar pinturas con emulsión de látex que tuvo una gran aceptación.

Fue en este mismo siglo XX en el cual se empezó a emplear la electricidad en la industria y también en la fabricación de pinturas. Se empezó a fabricar pintura en cantidades masivas y ya era imposible responder a la demanda de la forma tradicional, por ello se empezó a implantar el uso de maquinaria en la fabricación de pintura.

Es aquí cuando aparecen por primera vez las dispersoras. Estas máquinas eran muy sencillas. Se trataba de simplemente un motor colocado en un soporte que tenía conectado un removedor en su extremo. Este aparato solo contaba con un botón de encendido y apagado. Mas tarde empezarían a aparecer otros modelos más potentes que contarían con reguladores de velocidad mecánicos y un sistema de elevación hidráulico.

En la actualidad los dispersores modernos son muy parecidos a los clásicos, sin embargo, gracias al gran avance de la electrónica el control de velocidad ya no se realiza gracias a un variador mecánico, sino que se emplea un variador electrónico. La ventaja que suponen estos es que resultan mucho más precisos a la hora de mover al motor a una velocidad determinada.

También se ha hecho un gran avance en los cabezales de los dispersores y como afectan estos a la velocidad y eficiencia a la hora de realizar la mezcla.



Ilustración 2 Tipos de cabezales para dispersoras [8]

Como podemos observar dependiendo de la viscosidad de la mezcla y su densidad se han diseñado diferentes cabezales con el fin de lograr la mayor eficiencia.

En nuestro caso vamos a ir un paso más allá y vamos a innovar. Hasta ahora todos los dispersores trabajan siempre el mismo tiempo que desee el usuario sin importar si la mezcla ya se encuentra completada o no, esto es debido a que no existe en el mercado ningún sensor que nos permita saber si la mezcla está completada.

Al menos hasta ahora, recientemente se ha incorporado al mercado el primer sensor de viscosidad del mundo el cual nos permitirá medir por primera vez la viscosidad de la mezcla y saber si esta es estable y por ello la mezcla se encuentra completada logrando con ello una reducción considerable del tiempo de elaboración de las mezclas.



## 2.2 Las mayores empresas fabricantes de pintura del mundo

Todos los años la empresa Coatings World realiza un ranking con los mayores fabricantes de pintura, recubrimiento, adhesivos y selladores que fabrican en todo el mundo. El ranking se basa en las ventas anuales en dólares. En caso de empresas que no operan en países con dólares estadounidenses, estos se convierten.

A continuación, se muestra el listado con los 20 mayores fabricantes:

Clasificación	Nombre	Ganancias
1	AkzoNobel (The Netherlands)	\$13.300 billion
2	PPG (USA)	\$12.78 billion
3	Henkel (Germany)	\$11.174 billion
4	Sherwin-Williams (USA)	\$9.340 billion
5	Axalta (USA)	\$4.300 billion
6	RPM (USA)	\$4.100 billion
7	Valspar (USA)	\$4.100 billion
8	BASF (Germany)	\$3.95 billion
9	Kansai (Japan)	\$3.126 billion
10	Sika (Switzerland)	\$3.118 billion
11	3M (USA)	\$2.300 billion
12	Nippon (Japan)	\$2.290 billion
13	Asian Paints (India)	\$2.080 billion
14	H.B. Fuller (USA)	\$2.074 billion
15	Jotun (Norway)	\$1.965 billion
16	Masco (USA)	\$1.900 billion
17	Hempel (Denmark)	\$1.699 billion
18	Comex Group	\$1.400 billion
19	DAW (Germany)	\$1.300 billion
20	Materis (France)	\$1.090 billion

Tabla 7 Listado de mayores fabricantes de pintura



### 2.3 Análisis del sector en España

La producción de pintura forma parte de la industria química la cual comprende un gran número de subsectores, tales como farmacéuticos, fibras químicas, agroquímicos, reactivos, etc.

En la actualidad, el sector químico español cuenta con más de 3100 empresas relacionadas de alguna forma con el sector químico. Esta empresa representa alrededor de un 10% de todas las empresas industriales en España, siendo el cuarto sector industrial más importante. Este sector emplea 658.000 empleados y exporta el 56.6% de la producción nacional y además supone un 13.4% del PIB nacional.

Es irrefutable la importancia del sector químico en la economía española, solo es necesario observar los datos anteriores para poder darse cuenta de ello. Este sector se encuentra bajo una fuerte influencia del resto de actividades productivas, ya que el principal objetivo de este sector es suministrar las materias primas y productos requeridos para la producción de diferentes productos en muchos sectores industriales.

Dentro de la industria química, el subsector de las pinturas y barnices cuenta con una gran variedad de productos con muchísimos campos de aplicación, según la Fundación Entorno las principales aplicaciones se pueden resumir en:

- **Pinturas y barnices para el sector de la construcción**, entre los que cabe citar recubrimientos para interior y exterior, imprimaciones, pinturas de acabado, pinturas texturadas, barnices y colorantes.
- **Pinturas y barnices para una amplia gama de productos industriales** y de consumo (por ejemplo, mobiliario de madera y de metal, vehículos a motor, aviones, bienes de equipo, aplicaciones domésticas, filmes, papel, láminas, juguetes y artículos deportivos).
- **Pinturas y barnices especiales** para aplicaciones específicas, por ejemplo, para el repintado de coches y maquinaria, pinturas de alto rendimiento para el mantenimiento, por ejemplo, de puentes, y pintura de señalización de carreteras.
- **Tintas de impresión** para numerosos procesos (por ejemplo, impresión tipográfica, offset, huecograbado y serigráfica).

De todas las empresas que forman parte del sector químico, la industria de pintura y barnices ocupa el segundo puesto con el mayor número de negocios. En España, según datos del Instituto Nacional de Estadística, un 20% del número de establecimientos de la industria química pertenece al subsector de pinturas y barnices y alrededor de un 75% de estos negocios pertenece a PYMES, es decir, pequeñas y medianas empresas.



## 2.4 Explicación del modelo de producción

El proceso de fabricación y el equipamiento requerido para la fabricación de los diferentes tipos de pintura cambian drásticamente dependiendo de los diferentes tamaños e infraestructuras de la empresa, así como la gama de productos que deseen fabricar. Por ello es muy difícil definir un único método de producción.

Las pinturas, lacas y resinas se emplean en una gran cantidad de productos en muy diferentes campos y han de cumplir muy diferentes requisitos. Una prueba de ello es la gran variedad de productos y de sus diferentes fórmulas. Esta gran cantidad de variaciones es lo que hace posible la creación de una gran variedad de pinturas. De esta forma se pueden apreciar de forma visible las pinturas acrílicas, de las que utilizan una base de agua, de las metalizadas, así como de los otros tipos y sus consiguientes variantes. Todos estos tipos necesitan diferentes métodos productivos, y el impacto medioambiental de cada uno de ellos es a su vez distinto.

Todas las pinturas, lacas y resinas están formadas por un número concreto de sustancias en diferentes cantidades, entre estas sustancias se encuentran algunas volátiles como los disolventes y sustancias no volátiles, como por ejemplo colorantes, ligantes, diluyentes, pigmentos y un gran número de aditivos. Los cambios entre diferentes métodos de producción abarcan desde los aparatos completamente automatizados y los de los tanques, como otros que cuenta con semielaborados que se encuentran prácticamente terminados, hasta la fabricación manual realizada en la fabricación de pocas cantidades.

Los diferentes elementos empleados en la fabricación de pinturas y resinas se mezclan dependiendo de la formula requerida para obtener el producto deseado. Por último, antes de envasar el producto para su venta se deben de eliminar las diferentes impurezas que se encuentran en la mezcla. Para ello se emplean diferentes métodos tales como el tamizado, filtrado o separación por centrifugado.

Por otro lado, las lacas en polvo se realizan de una forma distinta, las materias primas se rectifican, mezclan, calientan, funden y homogeneizan en una prensa de extrusión, se vuelven a enfriar, se trituran y pulverizan para por último terminar envasándolas.

En la siguiente imagen se muestra un conjunto de procesos en la industria de la pintura:

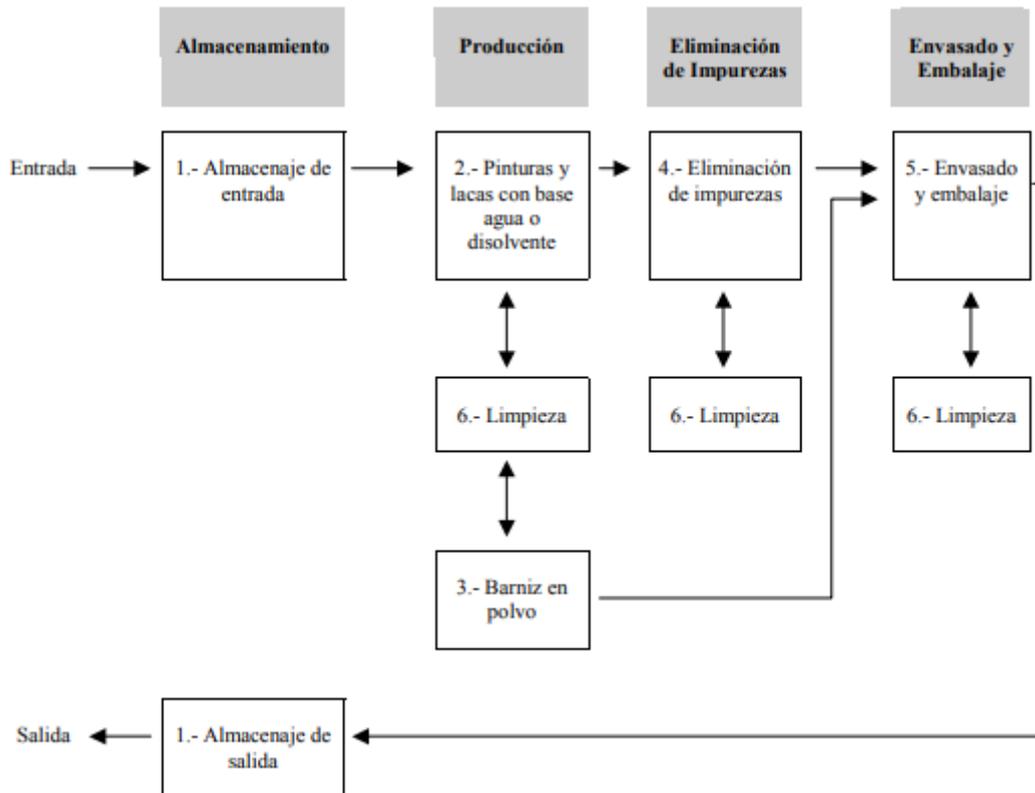


Ilustración 3 Proceso de fabricación de pintura [31]

Todos los procesos representados en la imagen anterior no se realizan en todas las empresas, y mucho menos en empresas de tamaño medio o pequeño. El objetivo de la imagen es poder describir de una forma generalizada el proceso de una forma general abarcando el proceso realizado por la mayor parte de las empresas de este sector.

Se procede a continuación a describir cada uno de los procesos descritos en la imagen anterior:

### 1.- Almacenamiento

Las materias primas de todo tipo de clases tales como disolventes, aditivos, colorantes... deben de ser almacenados. Estas materias primas son pesadas para su dosificación según la fórmula del producto que se desee crear. Por supuesto también el producto final es almacenado tal y como se muestra en la gráfica.

### 2.- Producción de pinturas y lacas, base agua o disolvente

Cada elemento empleado en la fabricación se trata de la forma específica que determina la fórmula y en el orden que determina la misma. Para realizar este proceso se emplea una gran



variedad de equipos tales como agitadores, dispersoras, rodillos... y también bombas neumáticas junto a tuberías para desplazar los componentes, así como el producto. Por regla general los elaborados y semielaborados se fabrican en lotes y en ciertos casos algunos componentes pasan por un tratamiento previo.

### 3.- Producción de barniz en polvo

Estos barnices son considerados más aceptables respecto al punto de vista del impacto medioambiental debido principalmente a que no contienen disolventes y el bajo nivel de emisiones generados durante su aplicación. El proceso de fabricación del barniz en polvo comienza con una serie de aglutinantes sólidos, previamente destilados y mezclados con diferentes pigmentos, catalizadores y aditivos, que son calentados y homogeneizados mediante una prensa de extrusión. El resultado de esta extrusión es un cilindro continuo de entre 2 y 3 mm que es transportado mediante una cinta mientras se enfría a una trituradora donde es convertida en virutas.

### 4.- Eliminación de impurezas

Para poder tener un buen producto uniforme es necesario eliminar las impurezas de la mezcla, el método más sencillo y el empleado para eliminar las partículas más gruesas es el tamizado. Otra forma utilizada para aquellos productos difíciles de tamizar es el uso de una criba vibradora. Sin embargo, para eliminar las impurezas de tamaño más pequeño presentes como por ejemplo en resinas o en disolventes se emplea el filtrado. Por último, otro método que se puede emplear es la separación centrífuga.

### 5.- Envasado y embalaje

Los productos son envasados en diferentes recipientes dependiendo del volumen y las características del producto. Estos recipientes se etiquetan para posteriormente ser enviados a los clientes.

### 6.- Limpieza

Entre la producción de cada lote es necesario una limpieza en profundidad de las tuberías, ya que de no emplearse los siguientes lotes emplearían una gran cantidad de imperfecciones que serían intolerables. Dependiendo de los productos empleados, los productos de limpieza deberán de ser o bien agua o bien algún tipo de disolvente orgánico.

## 2.5- Impacto medioambiental

Se puede definir el impacto medioambiental como un cambio o perturbación en el medio ambiente, siendo esta debida a la mano del hombre. Este impacto puede ser positivo o

negativo. El impacto medioambiental negativo hace referencia a un grave cambio en el equilibrio natural produciendo graves daños y perjuicios en el medio ambiente, así como también para personas y animales como para cualquier tipo de seres vivos.

Además, estos efectos se pueden clasificar como efectos directos o indirectos:

- Los efectos directos se consideran aquellos en los cuales las personas o empresas son capaces de ejercer una acción o control directo para la reducción o eliminación, o potenciación en caso de que estos efectos sean beneficiosos para el medio ambiente.
- Por otro lado, se consideran efectos indirectos aquellos producidos por causas imprevistas de las cuales no se posee control total.

En la imagen siguiente se muestra de forma general la contaminación más típica de cada uno de los puntos del proceso de producción:

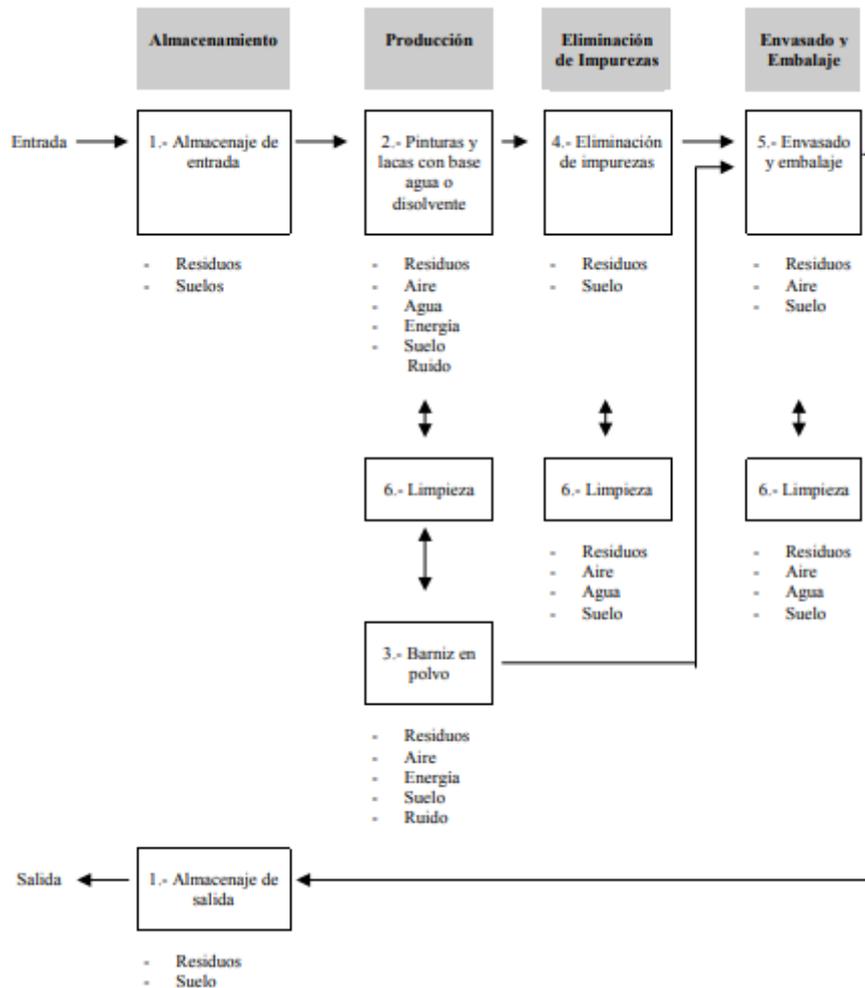


Ilustración 4 Residuos en los procesos de fabricación de pintura [31]



## 2.6 Efectos del impacto medioambiental

Una vez determinados las diferentes causas de un posible impacto medioambiental en cada una de las etapas, se procede a describir de forma más precisa las características de cada uno de ellos:

- Contaminación de aguas
- Generación de residuos
- Contaminación atmosférica
- Contaminación del suelo
- Energía
- Ruido

### 2.6.1 Contaminación de aguas

Los diferentes fluidos generados en la industria de pintura se originan principalmente en el proceso de limpieza de tuberías, equipos y tanques.

Los mayores componentes tóxicos son los restos de materias primas empleados en la producción. Varios ejemplos de estos componentes serían: resinas, secantes, pigmentos, aceites, aditivos...

A continuación, se analizan los vertidos generados en cada una de las etapas del proceso:

Proceso	Vertidos
Almacenamiento	No se generan aguas residuales
Producción de pinturas y lacas, base agua o disolvente	Las aguas residuales procedentes de algunos procesos de producción contienen partículas de pintura y barniz y componentes de las pinturas solubles.
Producción de barniz en polvo	En esta etapa no se generan aguas residuales.
Eliminación de impurezas	En esta etapa no se generan aguas residuales.
Envasado y embalaje	En esta etapa no se generan aguas residuales.
Limpieza	La limpieza de las unidades y tuberías produce aguas residuales, que contienen partículas de pintura y barniz y componentes de pintura soluble.

Tabla 8 Vertidos en los procesos de fabricación de pintura



### 2.6.2 Generación de residuos

Dentro de la gran cantidad de residuos generados se pueden establecer distintas categorías:

- Tóxicos y peligrosos
- Asimilables a urbanos
- Inertes

Un gran porcentaje de estos residuos generados es posible calificarlos como residuos urbanos, sin embargo, hay otro porcentaje que contiene restos de producción, estos deberán ser tratados de una forma especial según determina el reglamento de la zona.

A continuación, se analizan los residuos generados en cada una de las etapas del proceso:

Proceso	Residuos
Almacenamiento	El suministro genera materiales de embalaje y envases vacíos de todas clases. En algunos casos estos materiales pueden estar contaminados con sustancias o residuos peligrosos.
Producción de pinturas y lacas, base agua o disolvente	Posible aparición de lotes de pinturas y lacas que no cumplen las especificaciones, que no se ajustan a la formulación, o que presentan alguna contaminación. También se pueden generar sedimentos que contienen pinturas o barnices. Ocasionalmente puede generarse carbón activo ya agotado. Otros residuos son aceites de motores, engranajes y lubricantes.
Producción de barniz en polvo	En este proceso, aparecen con más frecuencia lotes que no cumplen las especificaciones, pues una vez terminado el proceso no puede realizarse adiciones de retoque. También se generan aceites de motor, engranaje y lubricantes.
Eliminación de impurezas	Los residuos procedentes del tamizado, filtrado y separación centrífuga (incluyendo el material del filtro, en su mayoría filtros de papel). También se generan aceites de motor.



Envasado y embalaje	Pueden aparecer restos de embalaje en esta fase, así como aceites de motor.
Limpieza	La limpieza de las unidades y tuberías puede generar disolventes orgánicos contaminados. También, en su caso, se genera en esta etapa, sedimento que contiene pintura y barniz procedente del tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 9 Residuos en la fabricación de pinturas

### 2.6.3 Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica en este tipo de producción se debe mayormente a los compuestos metálicos presentes en los pigmentos. También se produce contaminación atmosférica debido a la evaporación de disolventes que contienen ciertos componentes orgánicos(COV).

Respecto al resto de contaminantes aéreos, se encuentran en las mismas concentraciones que el resto de los otros tipos de industria.

A continuación, se analizan los elementos atmosféricos contaminantes generados en cada una de las etapas del proceso:

Proceso	Vertidos
Almacenamiento	No se producen emisiones a la atmósfera
Producción de pinturas y lacas, base agua o disolvente	Se pueden presentar grandes formaciones de polvo cuando se manejan componentes de granulado fino. También se pueden producir emisiones de hidrocarburos cuando se fabrican lacas con altas proporciones de disolventes orgánicos.
Producción de barniz en polvo	Pueden presentarse emisiones de polvo durante la mezcla y la trituración. Durante el calentamiento de la mezcla en la prensa, el aire puede contaminarse ligeramente con sustancias orgánicas.
Eliminación de impurezas	En esta etapa no se producen emisiones a la atmósfera.
Envasado y embalaje	Al envasar lacas con gran contenido de disolvente puede haber emanaciones de hidrocarburos y otros compuestos



	orgánicos volátiles. También el envasado de lacas en polvo puede producir emisiones de polvo.
Limpieza	Durante su uso como productos de limpieza, los disolventes pueden dar lugar a emisiones.

Tabla 10 Contaminación atmosférica producida en la fabricación de pintura

### 2.6.4 Contaminación del suelo

Existe la posibilidad de una posible fuga de sustancias peligrosas que puedan contaminar el suelo. Este riesgo existe en todas las etapas del proceso de producción de pintura.

### 2.6.5 Energía

Se produce un elevado consumo energético en la etapa de producción de pinturas y lacas. Ya que muchos de los componentes requieren de un equipo de calefacción o de refrigeración para poder manejar los. Y esto sin incluir el consumo de las máquinas empleadas, tales como hornos, prensas, mezcladoras...

### 2.6.6 Ruido

A pesar de que la mayoría del proceso es por lo general silencioso. En el proceso de producción de pintura se emplea un molino lleno de bolas metálicas para aumentar la brillantez de la pintura. Este proceso produce una cantidad de ruido considerable.

## 2.7 Instalación actual y cambios planeados

La instalación actual se encuentra en pleno uso y se sigue utilizando en el proceso de producción actual. Sin embargo, esta máquina se encuentra desfasada, siendo ya una máquina que tiene más de 50 años.

Esta máquina fue diseñada para trabajar en entornos ATEX, mientras es controlada por la pulsantería localizada en su cabezal.

Al tratarse de una máquina tan vieja pero que aún funciona perfectamente se ha decidido realizar una actualización de la máquina. Para con ello la máquina mejore su eficiencia, tanto en el tiempo de ciclo como con la cantidad de energía empleada en cada ciclo.

Para poder realizar todas estas mejoras se opta por cambiar el variador de velocidad mecánico por un variador de velocidad de frecuencia el cual permite mejorar con la precisión de la velocidad y la eficiencia respecto al consumo de energía. También se integrará al sistema un viscosímetro por el cual se podrá reducir el tiempo de ciclo, conllevando con ello un incremento en la eficiencia energética y en la producción.



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Electrónica Industrial y Automática



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 3-INSTALACIÓN



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**

### 3 Instalación

En este capítulo se realiza una descripción de todos los componentes empleados en la actualización de la máquina dispermix. Este incluirá todos los elementos a excepción del autómatas que se explicará en este capítulo de forma breve, ya que en el capítulo 4 Hardware se explicará con más detalle.

Siendo los componentes empleados:

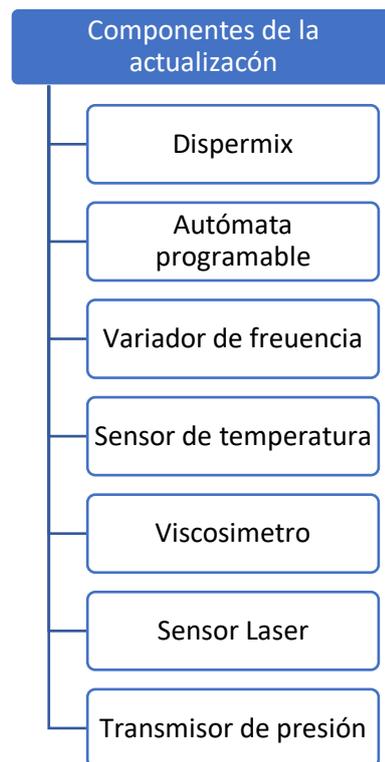


Tabla 11 Componentes de la actualización

#### 3.1 Dispermix

Esta es la máquina principal cuyo objetivo es el de mezclar diferentes componentes para realizarla mezcla. Está adaptada para que mediante un sistema hidráulico se pueda elevar o descender el cabezal de la dispersora. Esta máquina tiene alrededor de 50 años, se encuentra completamente actualizada y se pretende su actualización para mejorar con ello su capacidad de producción, su eficiencia y alargar su vida útil adaptándola al funcionamiento de las dispersoras modernas.



Ilustración 5 Maquina instalada en la fábrica

### 3.2 Autómata programable

Un autómata programable o PLC (Programable Logic Controller) es un equipo electrónico programable, diseñado para trabajar en ambientes industriales y controlar la producción de forma automática.

El objetivo de estos autómatas es el de mejorar la producción tanto la reducción el tiempo de trabajo, mejora de la productividad, simplificación de las tareas, reducción de la mano de obra...

Debido a los estándares de la casa se escoge emplear un autómata de la casa Rockwell, con sus correspondientes ampliaciones. En este apartado no se aportarán más datos debido a que el autómata y sus componentes se explicarán de una forma más extensa en el capítulo 4 Hardware.

El autómata escogido para la actualización es el autómata CompactLogix 5370 L3.

### 3.3-Variador de frecuencia

Hasta hace relativamente poco la forma de controlar los motores era mediante variadores de velocidad mecánicos, los cuales aparte de producir considerables pérdidas de energía, no permiten controlar la velocidad del motor de una precisa, ya que solo podían cambiar la velocidad a unas velocidades determinadas.

Por ello más tarde se empezaron a utilizar variadores de velocidad, los cuales variando la frecuencia de la señal de alimentación lograban cambiar la velocidad del motor. Estos variadores de velocidad por regla general se controlaban mediante una señal analógica la cual indicaba al variador la velocidad a la cual debía de moverse el motor. La desventaja de este



tipo de variadores es que no te indica la velocidad actual del motor, pudiendo haber un desfase entre la velocidad que se le pide y la real.

Debido a esto en la actualidad se emplean variadores de velocidad con dirección IP lo cual permiten no necesitar una conexión analógica para poder controlar el motor, sino que mediante la dirección IP se puede determinar la velocidad a la que se quiere mover el motor, la velocidad de giro actual, además de poder de poder configurarlo de diferentes formas.

El variador de frecuencia escogido para la realización del proyecto es el powerflex 755 de la casa Rockwell.



Ilustración 6 Powerflex 755 [13]

Debido a la importancia de este elemento en este proyecto se realizará a continuación una pequeña explicación del funcionamiento de un variador de frecuencia.

Lo primero de todo es explicar de qué depende la velocidad del motor ya que el objetivo de un variador de frecuencia es poder regular su velocidad:

$$RPM = \frac{120 * f}{p}$$

Donde:

RPM->Revoluciones por minuto

f->Frecuencia

p->Número de polos

Teniendo en cuenta que el número de polos del motor no puede variar y las revoluciones por minuto es algo fijado por nosotros por lo tanto lo único que podemos hacer es modificar la frecuencia de la señal para poder modificar la velocidad del motor.

El proceso para lograr modificar la frecuencia es el siguiente:

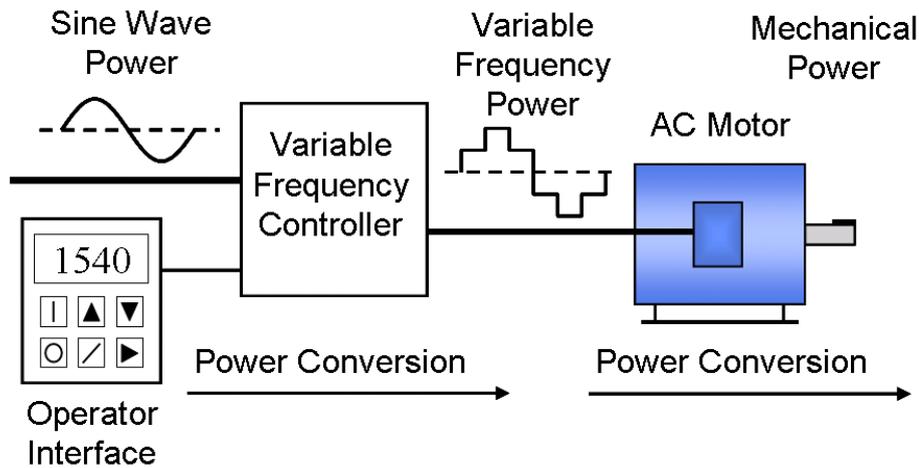


Ilustración 7 Funcionamiento PWM [9]

Este proceso se puede dividir en tres pasos descritos a continuación:

1-Cambio de alterna a continua:

Este proceso se hace simplemente con un puente de diodos.

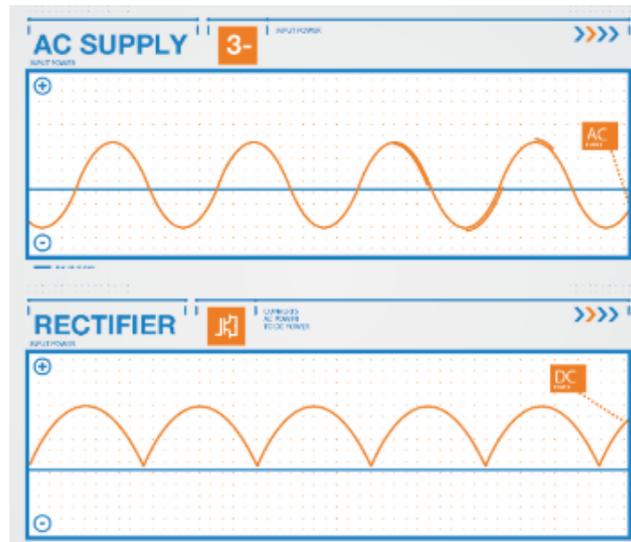


Ilustración 8 Paso por puente de diodos [9]

2-Rectificación:

Se colocan diferentes elementos para que la señal continua sea más estable. Los reguladores más baratos utilizan simplemente un condensador mientras que los de más calidad utilizan elementos más complejos y eficaces.

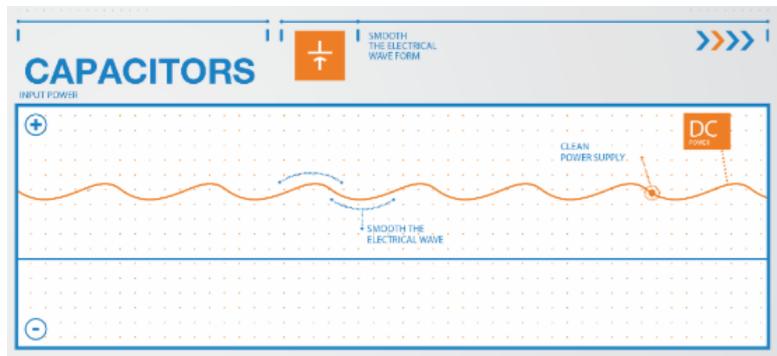


Ilustración 9 Rectificación de la señal eléctrica [9]

### 3-Creación de la onda con la frecuencia deseada:

Para poder crear esta señal un controlador se encargará de abrir y cerrar una serie de mosfet para con ello conseguir una señal cuadrada cuya media nos da la señal deseada.

Este sería un ejemplo del circuito empleado para la creación de la señal:

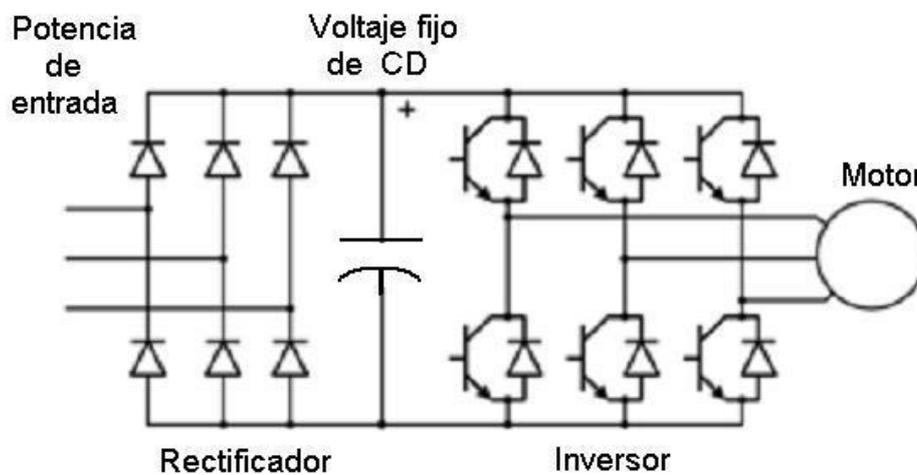


Ilustración 10 Creación de PWM mediante mosfet [9]

Este es un circuito muy sencillo con un convertidor con solo dos niveles dando como resultado la siguiente señal:

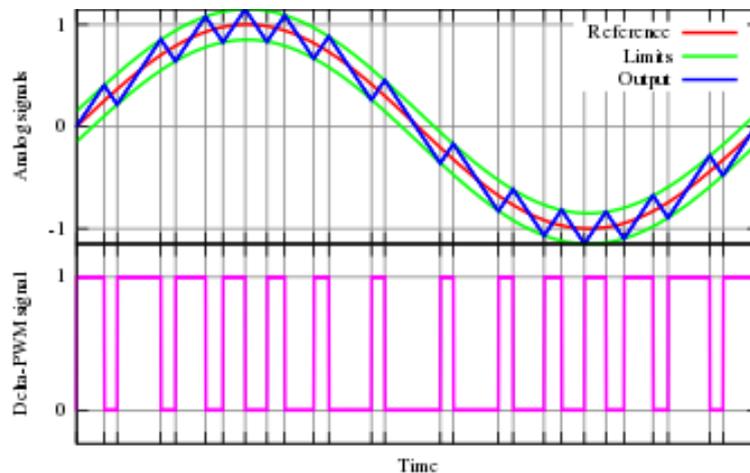


Ilustración 11 Resultado final PWM [9]

Este convertidor solo cuenta con dos niveles, es uno de los más simples sin embargo los convertidores más potentes y elaborados cuentan con un número mayor de niveles lo que aporta un mayor nivel de exactitud.

### 3.4 Sensor de temperatura

El sistema desde antes de la actualización ya contaba con un sensor de temperatura PT100. Por ello este elemento no aparece ni en los presupuestos ni en las mediciones al igual que el autómatas, el cual se utiliza uno ya existente.

El objetivo de este sensor de temperatura es el de poder monitorear y controlar la temperatura de la mezcla ya que al tratarse de sustancias volátiles es necesario asegurarse que nunca llegan a la temperatura de ignición.

El sensor de temperatura con la que cuenta la dispermix es una PT100.



Ilustración 12 PT100 [14]



Cuyas características principales son:

Serie	Bulbo liso
Tipo RTD	PT100
Tolerancia/Precisión	Clase B
Temperature range (°C)	-50...+250°C
Nº de hilos	3 Hilos
Ø Diametro	Ø6mm
Longitud	50 mm
Cabezal	DIN B / 72x72mm / Aluminio
Transmisor	Sin transmisor
Certificado de calibración	No necesito calibrar este instrumento

Tabla 12 Características PT100

De entre estos valores el más importante es el rango de temperatura. Ya que el rango de combustión de la mezcla del producto arde entre los valores entre 50-100°C.

Este sensor cuenta con un transmisor de 4-20mA el cual deberá ser programado mediante HART.

El funcionamiento de una PT100 es muy sencillo. El nombre de estos sensores viene de que son una resistencia eléctrica fabricada con platino, teniendo un valor a 0°C de 100Ω. Así una PT500 será igual, pero a la temperatura de 0°C tendrá un valor de 500Ω.

A medida que la temperatura aumente, el valor de la resistencia aumentará pudiendo calcular a partir de ella el valor de la temperatura. Debido a que el incremento de temperatura no es completamente lineal, cada fabricante proporciona una tabla con el valor de la resistencia para cada temperatura. De esta forma interpolando se es capaz de determinar la temperatura de la PT100.

A pesar de todo esto, normalmente no se requiere de nada de esto para emplear una PT100, ya que muchas de estas vienen con un encapsulado que contiene una electrónica que devuelve una la temperatura mediante una señal 0-10mA, como es el caso de este proyecto.

### 3.5 Viscosímetro

El viscosímetro es el elemento más importante de todo el sistema ya que será el encargado de indicar cuando la mezcla se encuentra terminada y por ello es el aparato del cual se depende para lograr los objetivos de ahorro de energía eléctrica y de tiempo.

Hasta ahora no era posible medir la viscosidad de un producto mientras se encontraba circulando por una tubería. Sin embargo, recientemente se ha empezado a implementar en el mercado una forma de medir la viscosidad en línea gracias al efecto Coriolis.



Para poder entender cómo funciona el viscosímetro primero se realizará una pequeña explicación sobre que es la viscosidad.

La revista electro industria define la viscosidad de un material de la siguiente manera:

“La viscosidad de un material está basada en el comportamiento cambiante entre las moléculas de un líquido. Como la movilidad de las moléculas depende de la temperatura, la viscosidad del material puede disminuir sustancialmente con el aumento de ésta. Esto significa que un fluido en movimiento (flujo) lleva fuerzas internas o fricción interna. Expresado de otra manera, la viscosidad es una indicación de cuán fácilmente un material fluye.”

La manera tradicional de medir consistía en colocar una cantidad del material en la superficie de un cilindro y según el tiempo de descenso del material por la superficie del cilindro se puede obtener la viscosidad del material.

Posteriormente se crearon máquinas para medir la viscosidad de una forma más exacta sin embargo todas estas máquinas funcionaban fuera de la línea de producción con una muestra del material a medir.

Pero ahora gracias a la aplicación del efecto Coriolis es posible medir la viscosidad en la línea de producción. Todos los sensores que utilizan el efecto Coriolis se basan en la segunda ley de Newton “Fuerza es igual a masa por aceleración”  $[F=m \cdot a]$ . El sensor se basa en esta ley para poder determinar la cantidad de masa del material que pasa por el sensor.

Cuando un objeto rota con una velocidad angular experimenta una fuerza de Coriolis proporcional a su velocidad, a la velocidad angular del sistema y a la masa de él mismo. Esta fuerza generada es perpendicular a la velocidad del objeto y a la velocidad angular del sistema de coordenadas.

El sensor de Coriolis se aprovecha de este efecto. A la entrada del sensor, este se divide en dos tubos ya sea en forma de “U” o rectos. A lo largo de estos tubos se encontrarán una serie de electroimanes cuyo objetivo será el de hacer vibrar el material, para inducir una fuerza de Coriolis sobre los conductos y medir la deformación que experimentan estos debido a la fuerza de Coriolis. Y a partir de ella poder deducir el flujo de masas.

A continuación, se muestra una imagen de un sensor basado en el efecto Coriolis y sus ventajas frente a otros sensores:

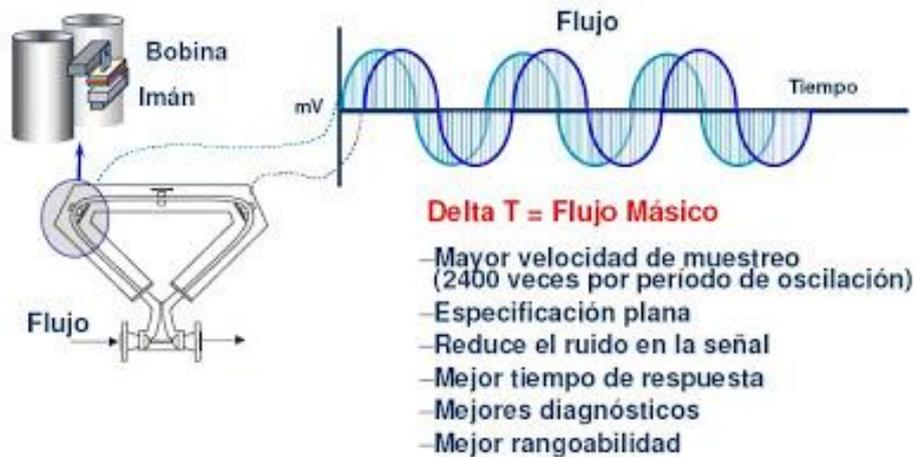


Ilustración 13 Funcionamiento de un viscosímetro [10]

De entre los diferentes sensores se ha escogido el sensor Promass 300 de la casa Endress+Hauser.



Ilustración 14 Viscosímetro de la casa Endress+Hauser [15]

### 3.6 Sensor laser

Para medir la altura en la cual se encuentra la dispersora se empleará un sensor de distancia mediante láser.

El funcionamiento de estos sensores se puede dividir en tres etapas:

1. Emisión de una onda: Emisión de una señal que puede ser laser, microondas, ultrasonido, infrarrojo. En este caso se tratará de un sensor láser por lo tanto la onda se tratará de una señal lumínica.

2. Medición del tiempo: Tiempo transcurrido entre la emisión de la onda de luz y su recepción por el fotorreceptor.
3. Conversión: Cálculo de la distancia basándonos en el tiempo medido.

El esquema del funcionamiento interno de un láser es el siguiente:

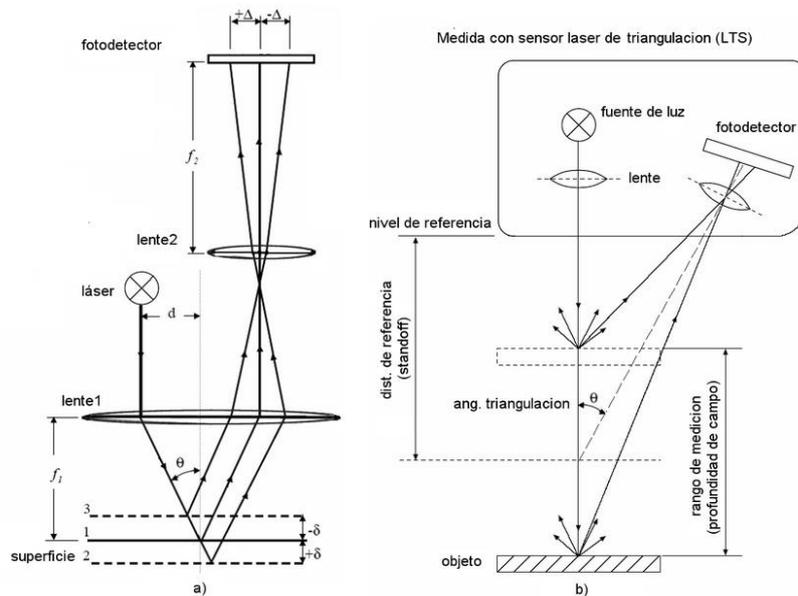


Ilustración 15 Funcionamiento de un detector de un detector laser [11]

El sensor escogido es el sensor LLT100 de la casa ABB.



Ilustración 16 Detector de distancia por láser de la casa ABB [16]

### 3.7 Transmisor de presión

Se utilizará un transmisor de presión para poder determinar la altura de la mezcla. Para ello se decide emplear el transmisor de presión Rosemount 2051.



Ilustración 17 Transmisor de presión de la casa Rosemount [17]

Existen diferentes tipos de transmisores de presión, pero el utilizado se trata de un sensor basado en la deformación que ejerce la presión sobre una membrana.

El principio en el que se basa este sensor en concreto es en la capacidad del condensador respecto a la distancia entre las superficies.

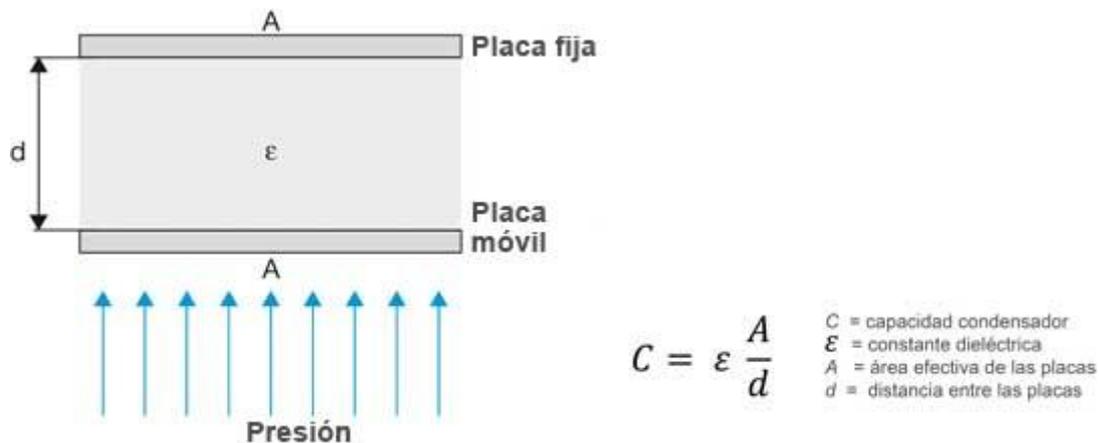


Ilustración 18 Funcionamiento de un detector de presión [12]



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

A medida que la distancia entre las superficies disminuye la capacidad del condensador aumenta permitiendo con esto poder almacenar más energía. Al poder almacenar más energía la tensión que almacena aumenta. El sensor transforma esta tensión en la correspondiente presión que está experimentando el sensor.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 4-DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## 4 Descripción del hardware

En este capítulo se realiza una descripción de todos los componentes físicos empleados en el autómata para la automatización del sistema. En este capítulo se describirá en autómata empleado, así como de sus ampliaciones y de las variables empleadas.

Para empezar, se debe realizar una breve descripción sobre que es un autómata programable. Una posible definición sería:

Un autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller) es un equipo electrónico programable, diseñado para trabajar en ambientes industriales y controlar la producción de forma automática.

El objetivo de estos autómatas es el de mejorar la producción tanto la reducción el tiempo de trabajo, mejora de la productividad, simplificación de las tareas, reducción de la mano de obra...

### 4.1 Componentes del autómata

Como se ha explicado anteriormente el autómata que se utilizará para el proyecto es un autómata ya existente al cual se le añadirán las funciones y componentes requeridos para poder controlar la máquina dispermix.

Por ello a continuación se expondrá cada uno de los componentes encargados de controlar la máquina, así como su funcionamiento y su cometido.

Todos estos componentes forman parte de la familia de autómatas de la casa Rockwell. Esto es debido a que la empresa realizadora de la renovación es una multinacional americana que tiene estandarizada en todas sus fábricas autómatas de la casa Rockwell.

## Autómata Programable

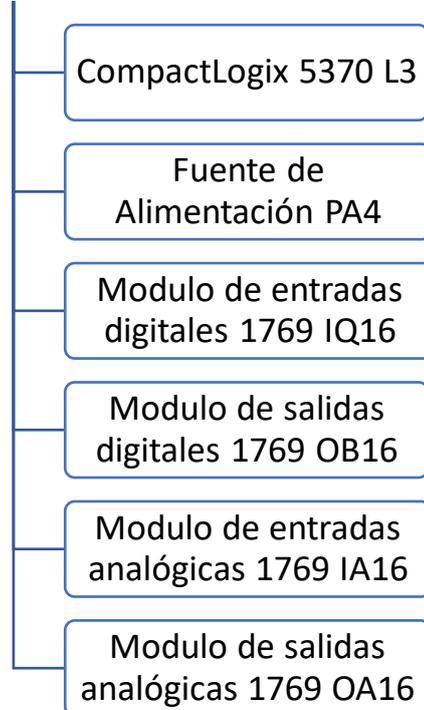


Tabla 13 Componentes del autómata programable

### 4.1.1 Unidad central de procesamiento

La unidad central de procesamiento es considerada la parte más importante de todo el autómata programable. Ya que dentro de este elemento se encuentra el corazón del autómata, un microcontrolador que lee y ejecuta el programa que el usuario ha introducido previamente en el autómata además de realizar la gestión de ordenar los datos y coordinar la comunicación con todos los elementos del autómata.

El programa empleado para controlar el autómata es realizado por el usuario en el entorno de programación correspondiente, representando este programa el proceso de control lógico que debe de realizar el autómata para lograr el correcto funcionamiento del sistema.

Al alimentar al autómata, el microcontrolador situado dentro de la unidad central de procesamiento apunta a un bloque de memoria [ROM] donde se encuentra toda la información del funcionamiento del sistema para poder comenzar el control del sistema. Acto seguido se realiza una labor de diagnóstico de todos los periféricos y se comprueba si se encuentra cargado algún programa en el autómata, para a continuación indicar si no hay o si está listo para ejecutar el programa.

Cuando se haya cargado un programa, este programa se encontrará en el bloque de memoria, y se indique el comienzo del programa, el microcontrolador de la unidad central empezará a ejecutar la instrucción situada en la primera posición de memoria.

Dependiendo del autómatas con el que estemos trabajando este realizará el proceso de tratamiento de datos de una forma u otra. Pongamos por ejemplo Siemens y Rockwell:

- **Siemens:** Trata todas las líneas de comandos al mismo tiempo, con llevando con ello que todo el programa se ejecuta al mismo tiempo.
- **Rockwell:** Ejecuta el programa en forma de escalera, es decir ejecuta el programa línea a línea pasando del final de la primera línea al principio de la siguiente.

Pero aparte del tratamiento de información por regla general el autómatas realiza el siguiente proceso en su funcionamiento:

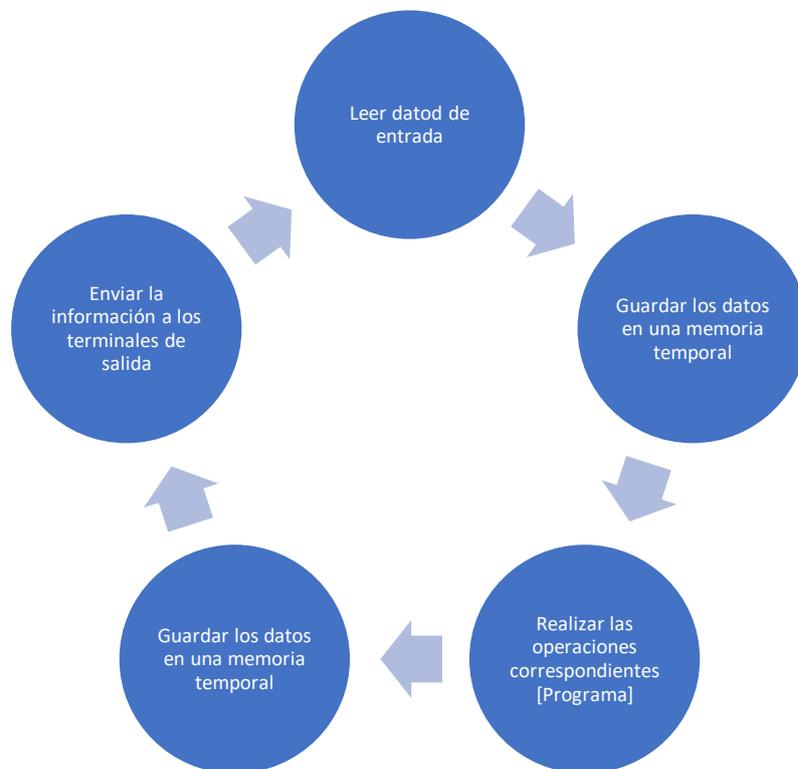


Ilustración 19 Proceso de funcionamiento del autómatas programable

Todo este proceso es realizado por el microcontrolador el cual organiza todos los datos en diferentes bloques y coordina el intercambio de datos entre ellos. La explicación del funcionamiento del microcontrolador desde un punto de vista físico y desde el punto de vista de la memoria sería:

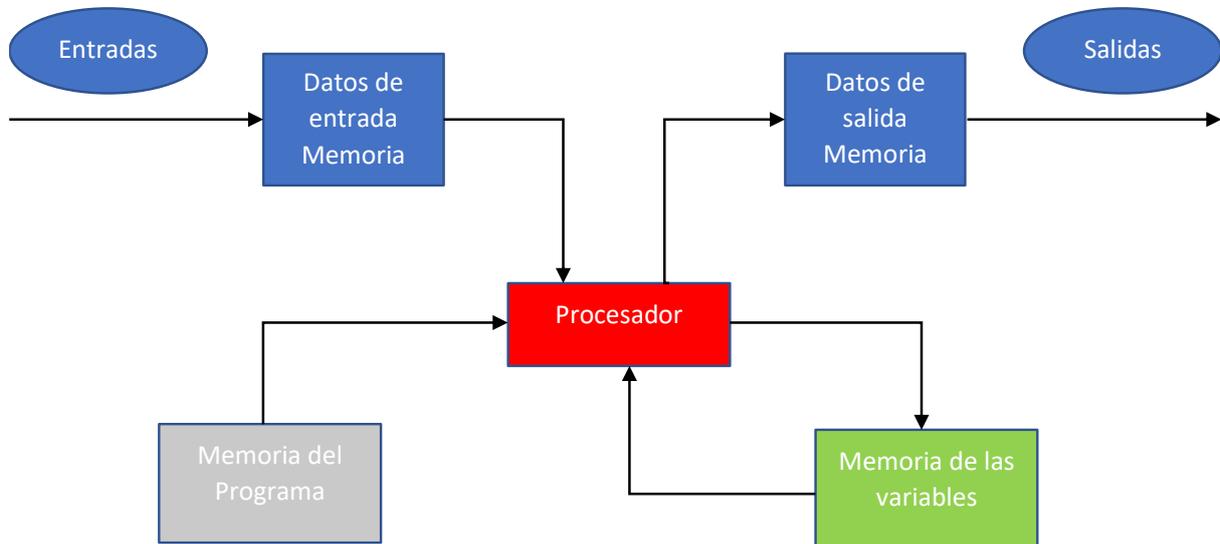


Ilustración 20 Organización interna del autómata programable

Una vez explicado el funcionamiento general de la unidad central de procesamiento de un autómata se procede a centrarse en el caso concreto de este trabajo de fin de máster.

En la actualidad la familia de autómatas de Rockwell cuenta en sus productos con tres familias de controladores dependiendo de la potencia de estos:

Familias de controladores de la casa Rockwell	
Nivel del autómata:	Nombre de la familia de la casa Rockwell:
Altas prestaciones	ControlLogix
Medias Prestaciones	CompactLogix
Bajas prestaciones	MicroLogix

Tabla 14 Clasificación de los autómatas de la casa Rockwell

El autómata que se ha decidido emplear para esta práctica es el CompactLogix 5370-L33ER.



*Ilustración 21 CompactLogix 5370-L33ER [18]*

Las razones principales por las cuales se escogió este autómatas son las siguientes:

- Velocidad de procesamiento
- Capacidad de ser conectada en anillo
- Posibilidad de expansión con 16 módulos y 2 bancos
- Conexión IP incorporada

#### 4.1.2 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es el elemento del autómatas encargado de proporcionar la energía necesaria para el correcto funcionamiento del mismo.

La alimentación de la CPU del autómatas puede ser de diferentes tipos. Entre las más comunes se encuentran la de 24Vcc y la de 220/380Vac, dependiendo el amperaje del número de elementos que se desee emplear con el autómatas.

Además, también se suele incorporar en el autómatas una batería tipo tampón, cuya función es el mantenimiento de algunas funciones internas y del programa encargado del funcionamiento de la RAM en caso de un corte en la alimentación o el apagado del autómatas.

La fuente de alimentación ha sido escogida basándonos en las necesidades del autómatas. Por ello solo se escriben las características de la fuente escogida, en este caso la fuente 1769-PA4.



Ilustración 22 Fuente de alimentación [19]

#### 4.1.3 Módulo de entradas digitales

El objetivo del módulo de entradas digitales es el de permitir conectar al autómata sensores de todo tipo con señales todo o nada.

El módulo de entradas digitales trabaja con la tensión que llega a sus terminales. De tal forma que si llega 24 voltios de tensión a uno de sus terminales el autómata lo interpreta como “1”, mientras que si no llega tensión interpreta esa entrada como “0”.

El módulo de entradas digitales presenta las siguientes características:



Tabla 15 Características del módulo de entradas digitales

Se requiere un módulo de entradas digitales, tanto para el sensor de altura máximo como un interruptor al lado de la máquina como interruptor de emergencia. Para esto se ha escogido el módulo 1769-IQ16:



Ilustración 23 Módulo 1769-IQ16 [20]

Cuya estructura interna es la siguiente:

### 1769-IQ16

Compact 24V DC sink/source input module

1769-IQ16

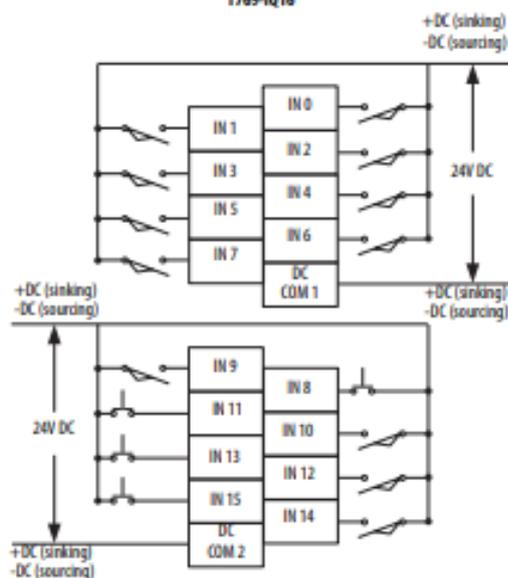


Ilustración 24 Estructura interna del módulo 1769-IQ16 [32]

#### 4.1.4 Modulo de salidas digitales

El módulo de salidas digitales hace posible al autómatas utilizar periféricos que utilicen señales de todo o nada.

Estos módulos cuando ponen a "1" alguna de sus salidas cierra los contactos correspondientes para conectar la tensión que se encuentre en el común con la correspondiente salida del autómatas, y con un "0" se abre el contacto correspondiente conectando la salida del autómatas con el segundo común que se encontrará conectado a tierra.

Existen diferentes tipos de módulos de salida dependiendo de la forma en la cual transmita la tensión:



Módulos de salida digitales

- Salida a relé
- Salidas a transistor
- Salidas por triac

Tabla 16 Tipos de salidas digitales

Las características de este tipo de módulos son:

### Características módulo de salidas digitales

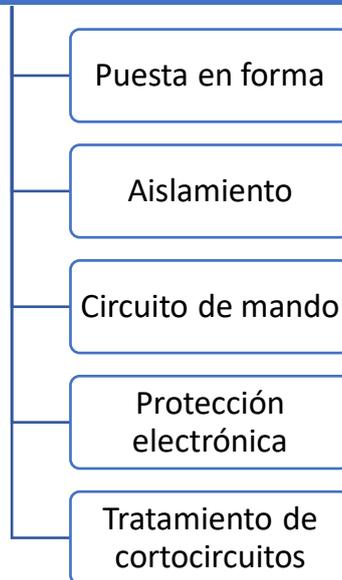


Tabla 17 Características del módulo de salidas digitales

Este módulo se emplea para controlar la subida y bajada de la dispersora, así como la posición de las válvulas, la activación de la bomba, la activación del motor y la selección del sentido del motor.

El módulo de salidas digitales empleado es el modelo 1769-OB16 el cual es un módulo de salidas digitales por transistor:



Ilustración 25 Módulo 1769-OB16 [21]

Cuya estructura interna es:

**1769-0B16**

Compact solid-state 24V DC source output module

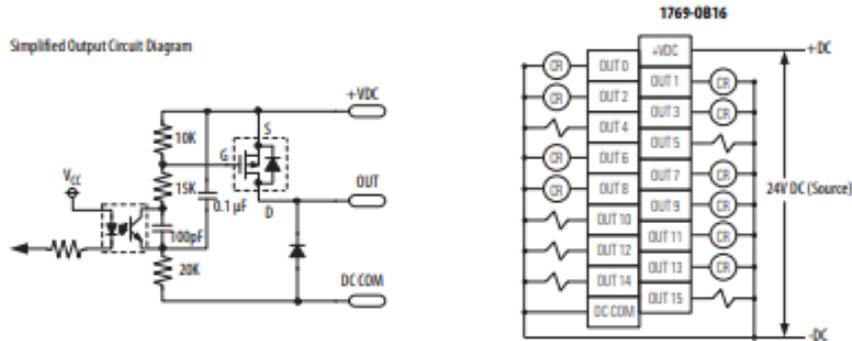


Ilustración 26 Estructura interna del módulo 1769-0B16 [33]

4.1.5 Modulo de entradas analógicas

El módulo de entradas analógicas hace posible que el autómatas trabaje con accionadores de mando analógico, es decir permiten al autómatas leer señales de tipo analógico.

La función de los módulos de entrada analógica es la de convertir una señal analógica de corriente o de tensión en una variable interna del autómatas. Esta transformación se realiza gracias a un transformador de AC/DC ya que el autómatas solo trabaja con continua. Esta conversión se realiza con una precisión y una rapidez determinada por la programación del autómatas.

Las características de este tipo de módulos son:

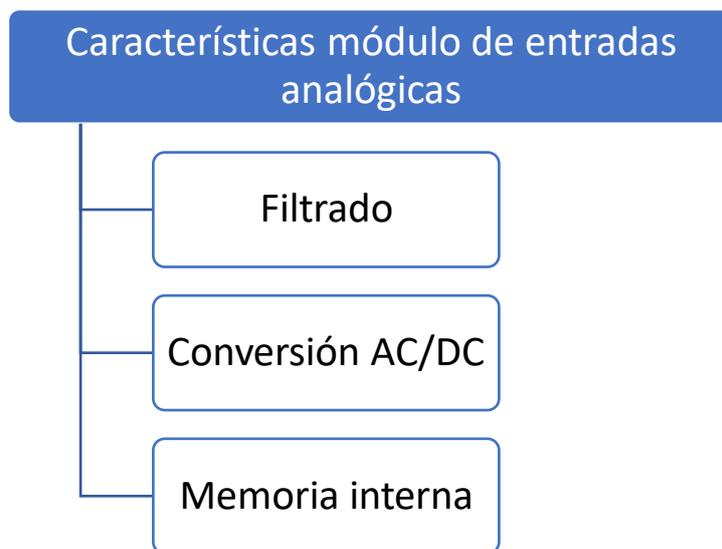


Tabla 18 Características del módulo de entradas analógicas

Mediante las entradas analógicas se podrá monitorizar la temperatura, la viscosidad y la altura de la mezcla.

El módulo de entradas analógicas empleado es el 1769-IA16:

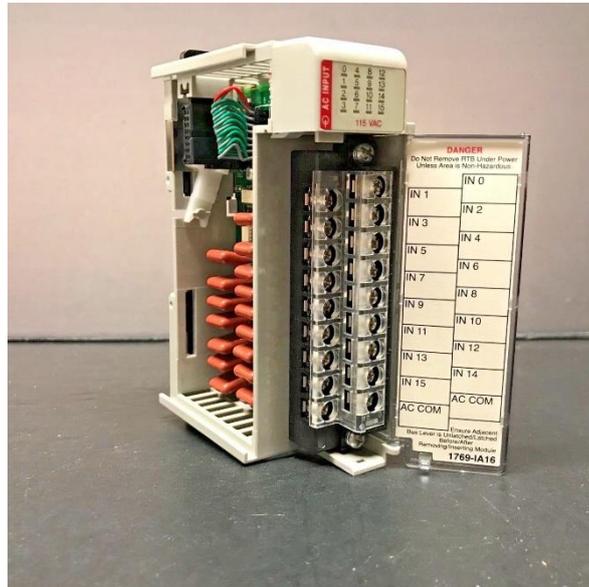


Ilustración 27 Módulo 1769-IA16 [22]

Cuya estructura interna es la siguiente:

### 1769-IA16

Compact 120V AC input module

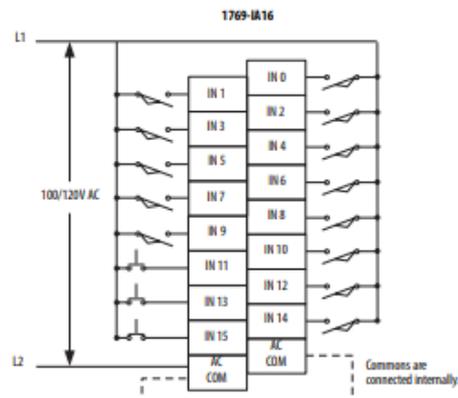


Ilustración 28 Estructura interna del módulo 1769-IA16 [34]

#### 4.1.6 Módulo de salidas analógicas

El módulo de salidas analógicas permite al autómatas transformar el valor de una variable interna en una señal analógica de tensión o de corriente.

Este módulo emplea un convertidor DC/AC ya que el autómatas solo trabaja con continua.

Este módulo se emplea con todo tipo de actuadores que utilizan algún tipo de señal alterna como por ejemplo reguladores de temperatura, variadores de velocidad...

Este tipo de módulos presenta las siguientes características:

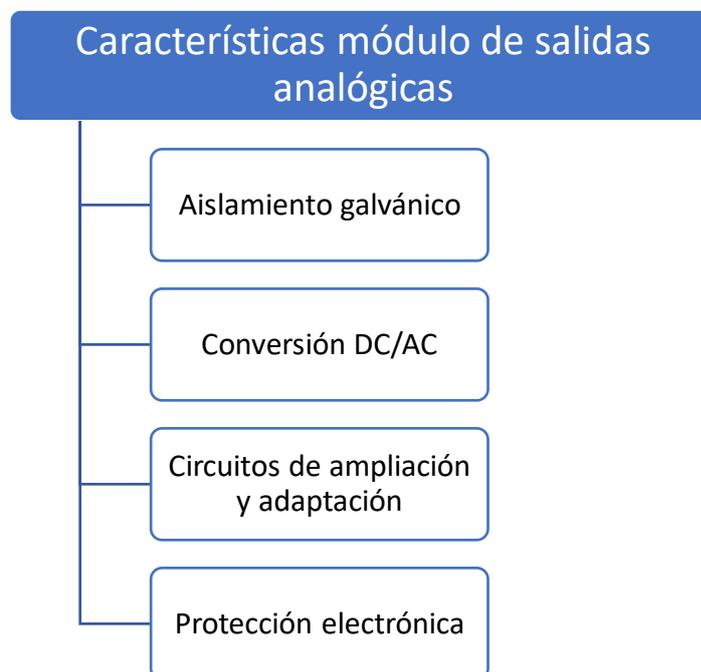


Tabla 19 Características del módulo de salidas analógicas

Este módulo se emplea únicamente para el control de la velocidad del motor.

El módulo de salidas analógicas empleado es el modelo 1769-OA16:



Ilustración 29 Módulo 1769-OA16 [23]

Cuya estructura interna es:

1769 Compact I/O Modules Specifications

### 1769-OA16

Compact 120/240V AC solid-state output module

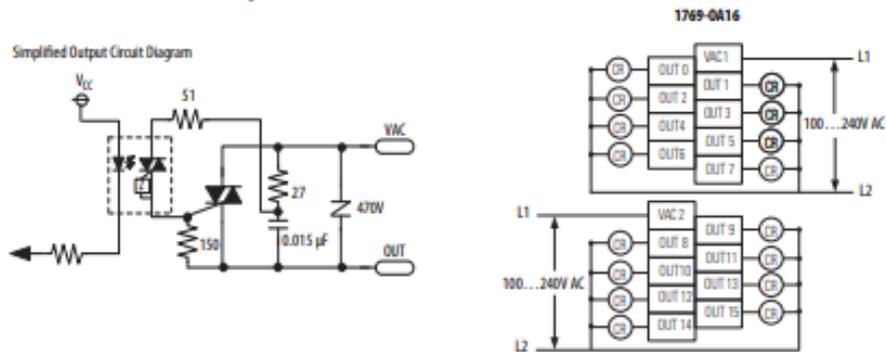


Ilustración 30 Estructura interna del módulo 1769-OA16 [35]



#### 4.2 Número de variables a utilizar

Los autómatas de la casa Rockwell emplean la siguiente denominación en su sistema de programación para diferenciar distintos elementos:

B→Bit

C→Contador

F→Float

U→Unsigned

N→Natural

I→Input

O→Output

Seguidos a estos símbolos se encuentran la palabra y el bit en el que empieza el símbolo. Por ejemplo, la variable B3:1/1 nos dice que es el bit uno de la palabra uno.

Las variables más representativas usadas respecto a su cantidad son:

- **Salidas digitales:8**
- **Entradas digitales:2**
- **Salida analógica:1**



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 5-PROGRAMACIÓN



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**

## 5 Programación

### 5.1 Descripción del software utilizado

Para la programación del autómatas se emplea el programa de la casa Rockwell RSLogix 500, para el Scada se emplea un ordenador de sobremesa con un sistema operativo Windows y el programa de Rockwell RSVIEW. Por último, se configuran los sensores mediante HARTING.

### 5.2 Objetivo de funcionamiento del sistema

Antes de proceder en profundidad en la realización del proyecto, conviene explicar debidamente como se debe comportar la máquina en cuestión.

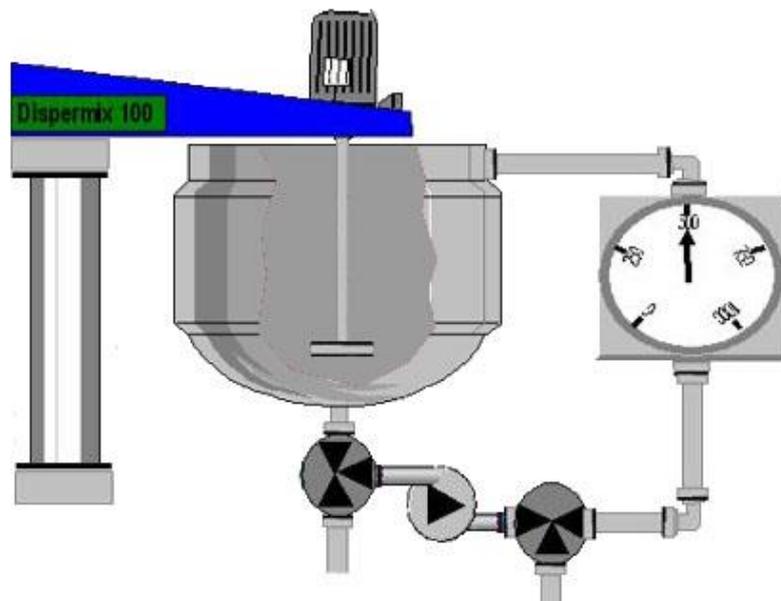


Ilustración 31 Representación de la dispersora

- Desde un principio la máquina deberá tener las dos válvulas en la posición en la cual el líquido no se derrame y la bomba deberá estar apagada, así como el motor de la dispersora.
- Cuando el usuario presione el botón de “Start”, el cowless (el disco de la dispersora) comenzará a rotar y a descender hasta el fondo y la bomba comenzará a bombear la mezcla hasta el viscosímetro.
- Una vez el cowless ha alcanzado la posición más baja se dispondrá a subir hasta rebasar el nivel de la mezcla para una vez más descender. Este proceso se repetirá tres veces.
- En la tercera repetición el sistema almacenará el esfuerzo del motor en ciertos puntos para lograr determinar el punto de mayor densidad. Cuando haya almacenado todos los puntos el cowless se dirigirá a la posición de mayor densidad y permanecerá allí un



tiempo “x”. Una vez pasado este tiempo el sistema repetirá todo el proceso hasta que la viscosidad marcada por el viscosímetro se estabilice.

- Una vez estabilizada la viscosidad, la bomba se apagará y el cowless se moverá al punto medio de la mezcla y desacelerará hasta el 50% de su velocidad máxima.
- En este punto la máquina permanecerá en este estado hasta que el usuario decida verter el líquido. En ese momento el cowless descenderá hasta la posición más baja e irá desacelerando a medida que la altura del líquido descienda.
- Cuando todo haya terminado el usuario tendrá que pulsar “Stop” para cerrar las válvulas y poner la máquina en la posición inicial permitiendo de esta forma al usuario poder volver a reiniciar el proceso.

Aparte de esto el sistema contará con un sistema de aviso por temperatura, aviso por desbordamiento y un sistema de control manual.

## 5.2 Diagramas de flujo

Una vez explicado cómo debe de comportarse el sistema se procede a dividirlo en tres subapartados. Los cuáles serán el programa cargado en el propio autómatas (RSLogix 500), el sistema SCADA (RSView 32) encargado de realizar la interfaz programa usuario y la configuración realizada al variador de frecuencia.

Una vez explicado todo el proceso se elabora el diagrama de flujo de todo el proceso:

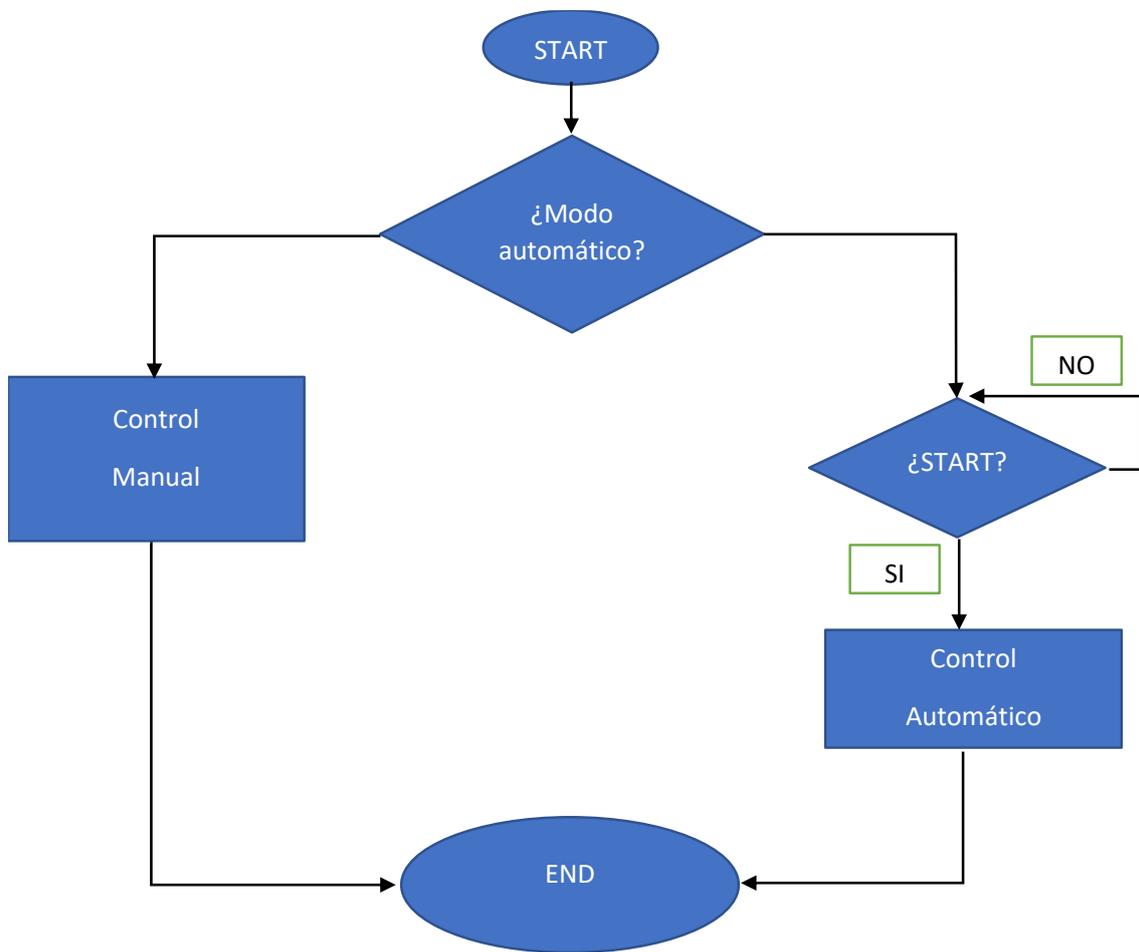


Ilustración 32 Diagrama de flujo 1

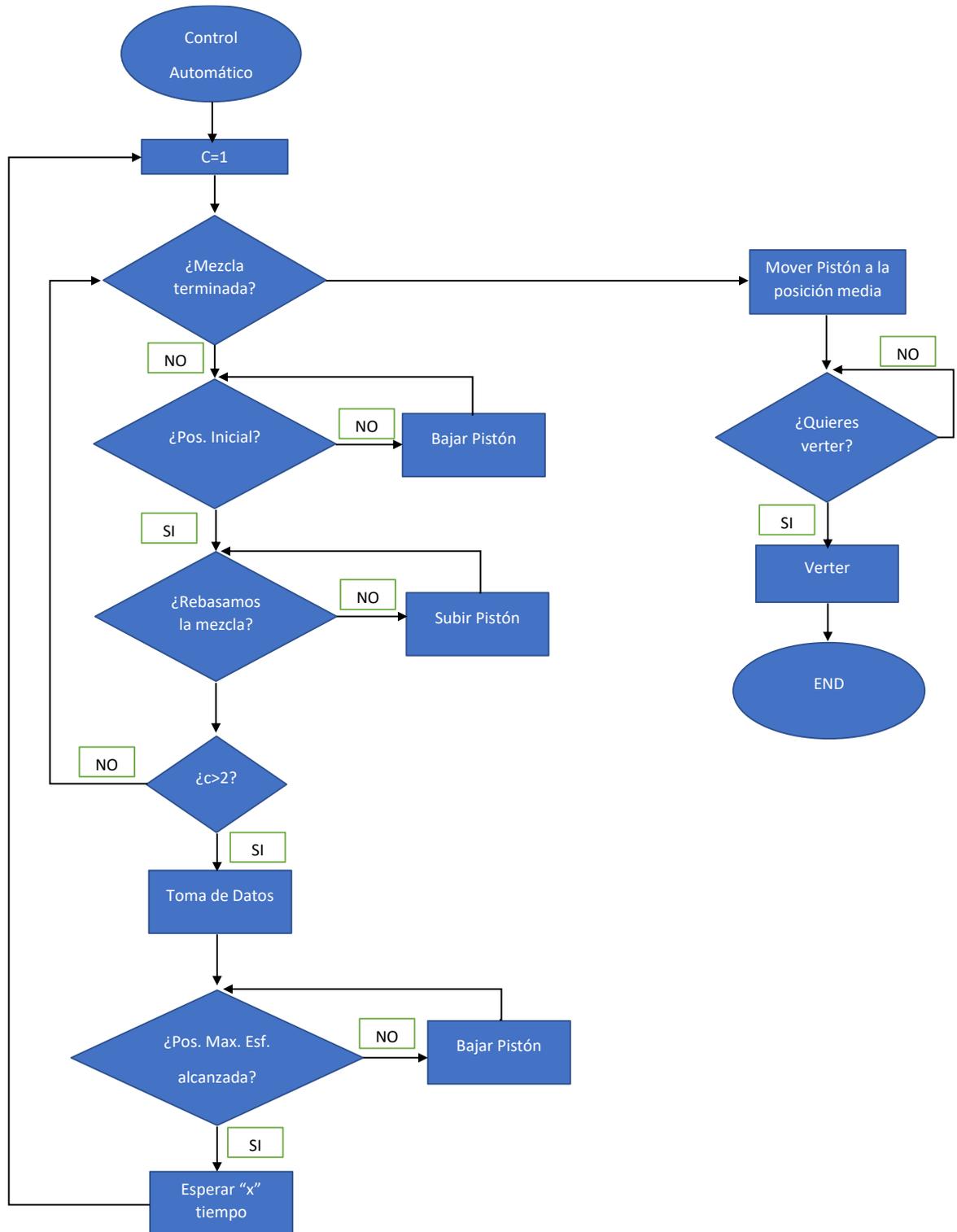


Ilustración 33 Diagrama de flujo 2



### 5.3 Programación del autómatas Micrologix 1400

Para la elaboración del proyecto se ha decidido emplear como prototipo un autómatas RSLogix 1400 serie B con dos expansiones entradas y salidas, se especifican todos los detalles de estos en el anexo 1.

Para poder realizar todas las funciones detalladas en el apartado anterior al sistema se emplearán una serie de sensores entre los que se encuentran:

- Sensor de posición laser.
- Sensor de temperatura.
- Transmisor de presión.
- Viscosímetro.

Teniendo en cuenta que el sistema funciona según la lógica escalera se procedió a elaborar el siguiente programa con sus correspondientes subrutinas:

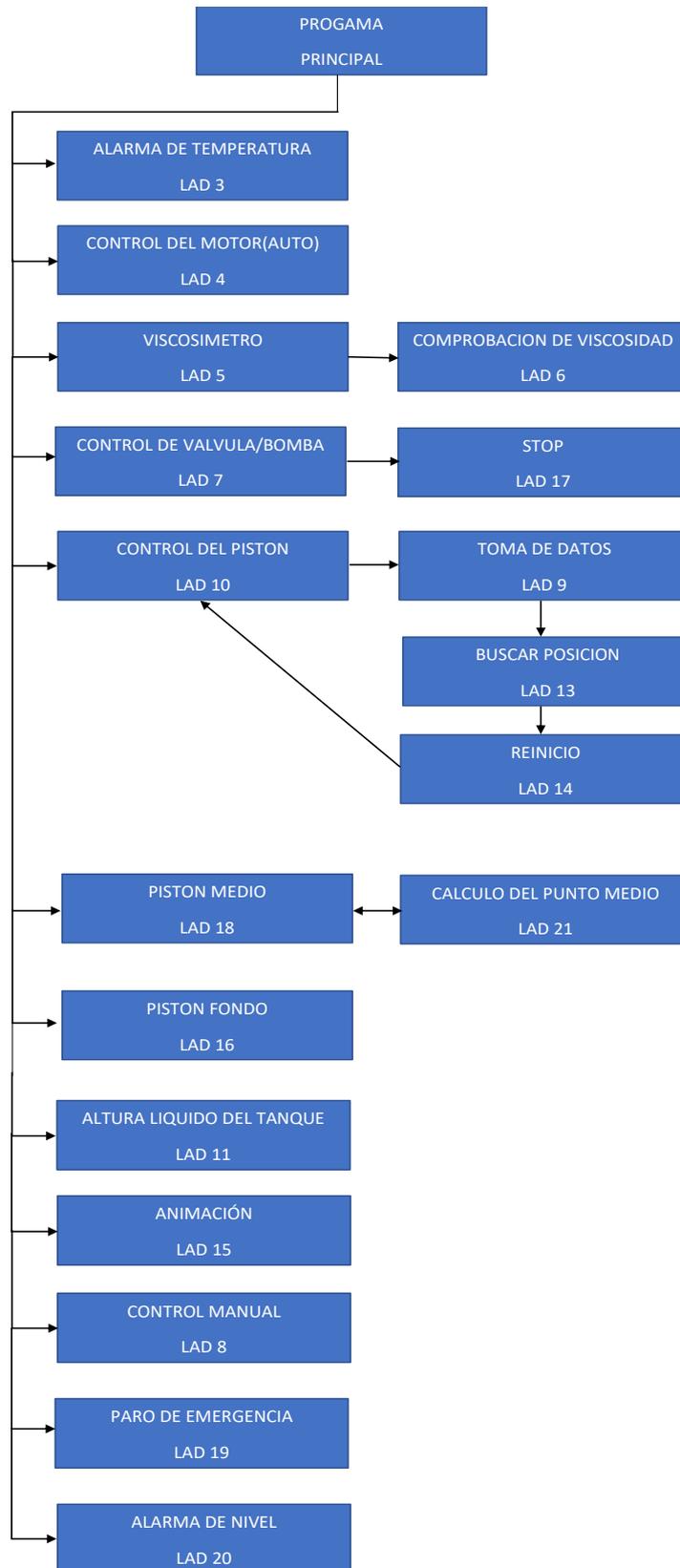


Ilustración 34 Diagrama interno de los programas del autómeta

Toda la programación del sistema se realiza mediante puertas lógicas, todas ellas pudiéndose encontrar en el anexo 1. A continuación se explicará de una forma más sencilla la función de cada uno de los bloques:

- **Programa Principal (Lad 2):** Este es el programa principal del autómatas cuyo único objetivo es el de dar acceso a las subrutinas en un orden determinado.



Ilustración 35 Subrutinas (LAD 2)

- **Alarma de temperatura (Lad 3):** Cuenta con un comparador en el cual si la temperatura del sistema supera la temperatura máxima de la alarma pone a “1” el bit de alarma por temperatura. Siendo la temperatura actual almacenada en la variable N7:0 y la temperatura de la alarma en la N7:1.

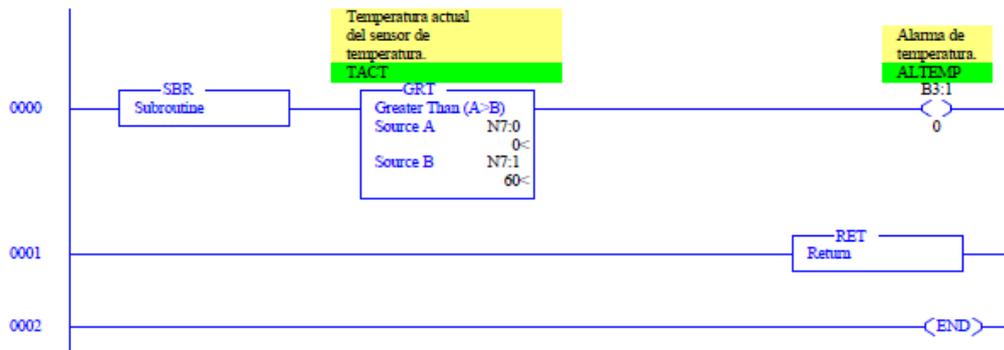


Ilustración 36 Alarma por temperatura (LAD 3)

- **Control del motor (Lad 4):** Se accede a él si el sistema está funcionando de forma automática. Cuenta con un “SCP” (scale with parameters) para regular la velocidad del sistema junto con una serie de bits que son activados mediante el “SCADA” que pondrían en marcha el proceso de mezcla. Así como activar la bomba y asegurarse que las válvulas se encuentren en la posición correcta. Cabe destacar que esta subrutina cuenta con un temporizador para lograr realizar una aceleración en forma de rampa y dos bits para asegurar que el sistema no acelere más una vez que se cumplan una serie de características que se verán en otras subrutinas.

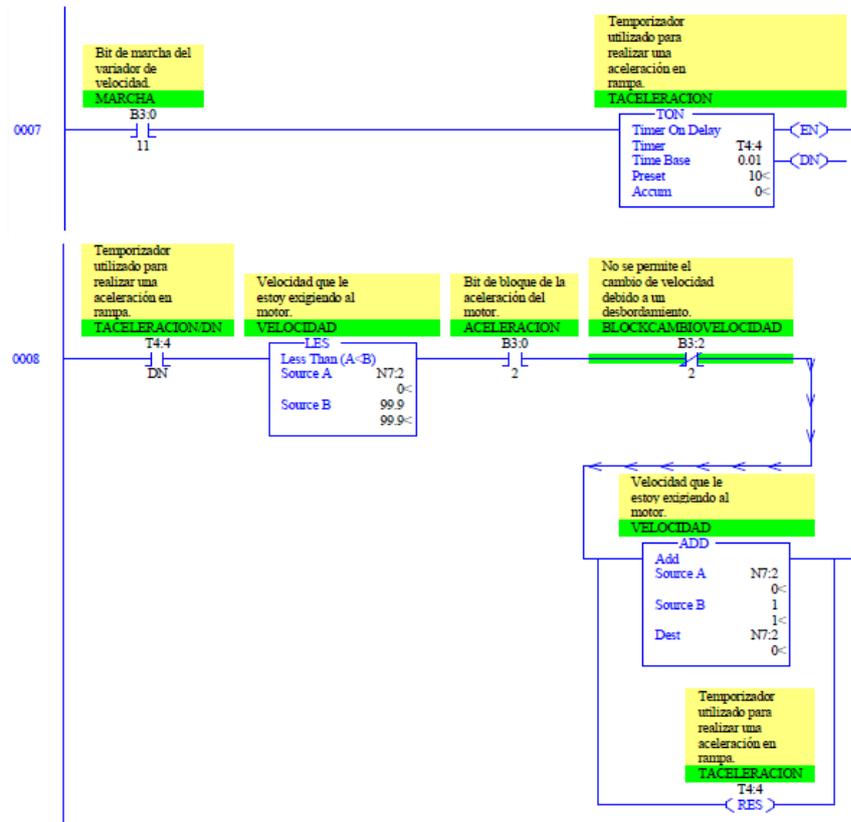


Ilustración 37 Aceleración en rampa (LAD 4)

- **Viscosímetro (Lad 5):** Se activa esta subrutina siempre que estemos en automático y se active la marcha con el “SCADA”. Una vez dentro se calcula el límite máximo y mínimo que debe de tener la mezcla para considerarse estable mediante la última medida del viscosímetro que haya excedido los límites. Pasado un tiempo en el cual la viscosidad medida por el viscosímetro no exceda los límites, se determina que la viscosidad de la mezcla está estabilizada y accedemos a la siguiente subrutina:
  - **Comprobación de Viscosidad (Lad 6):** En este se comprueba que la viscosidad ya estabilizada del sistema se encuentra dentro del margen de error aceptable respecto a la viscosidad ideal que debería tener la mezcla. Si se cumple esto se pondrá a “1” un bit indicando que la mezcla es válida.

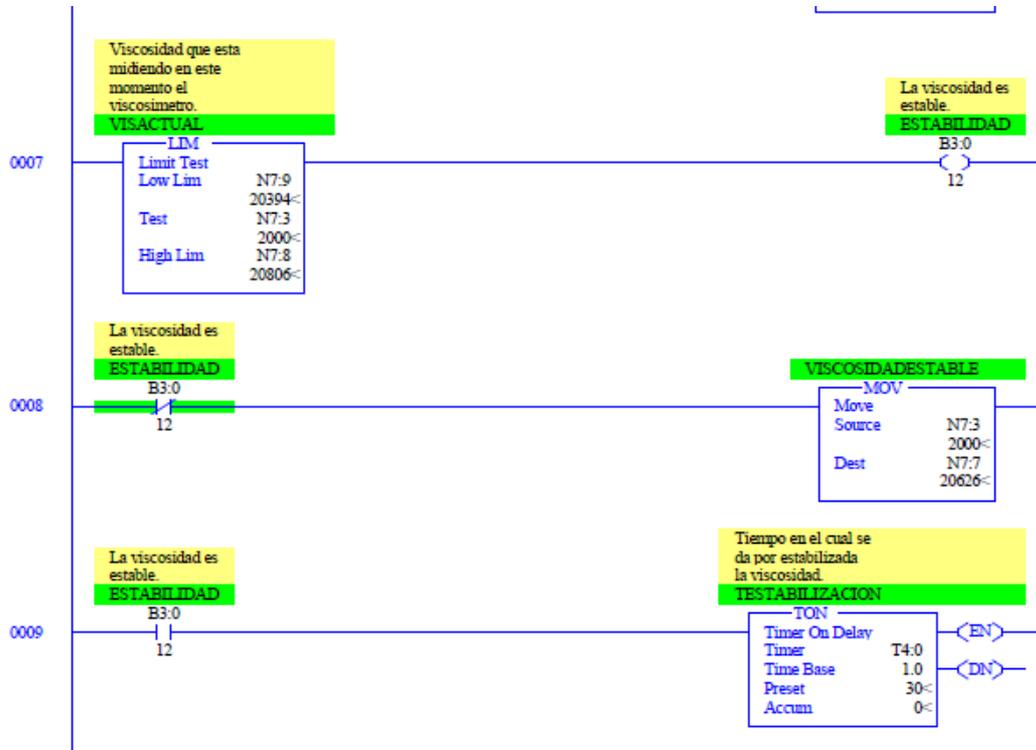


Ilustración 38 Comprobación de la estabilidad (LAD 6)

- **Control de válvula/bomba (Lad 7):** Se accede a esta subrutina si el sistema está funcionando en automático. En esta subrutina se espera a que la rutina Lad 5 indique que la mezcla se encuentra terminada, para lanzar un bit que en el “SCADA” preguntará al usuario si desea verter la mezcla y dependiendo si la mezcla es válida o no habrá dos bits distintos que se necesitarán activar dependiendo de los derechos de seguridad que tenga el usuario en el “SCADA”. Para que una vez que el usuario decida verter esta subrutina se pueda acceder a la subrutina siguiente:
  - STOP (Lad 17): Cuando el usuario decide verter la mezcla se para la bomba, se cambia la posición de las válvulas y realizamos una desaceleración de la velocidad del cowless en función de la altura del líquido. Y que cuando el nivel de la mezcla alcance el fondo del depósito pare el cowless y reinicie una serie de bits.

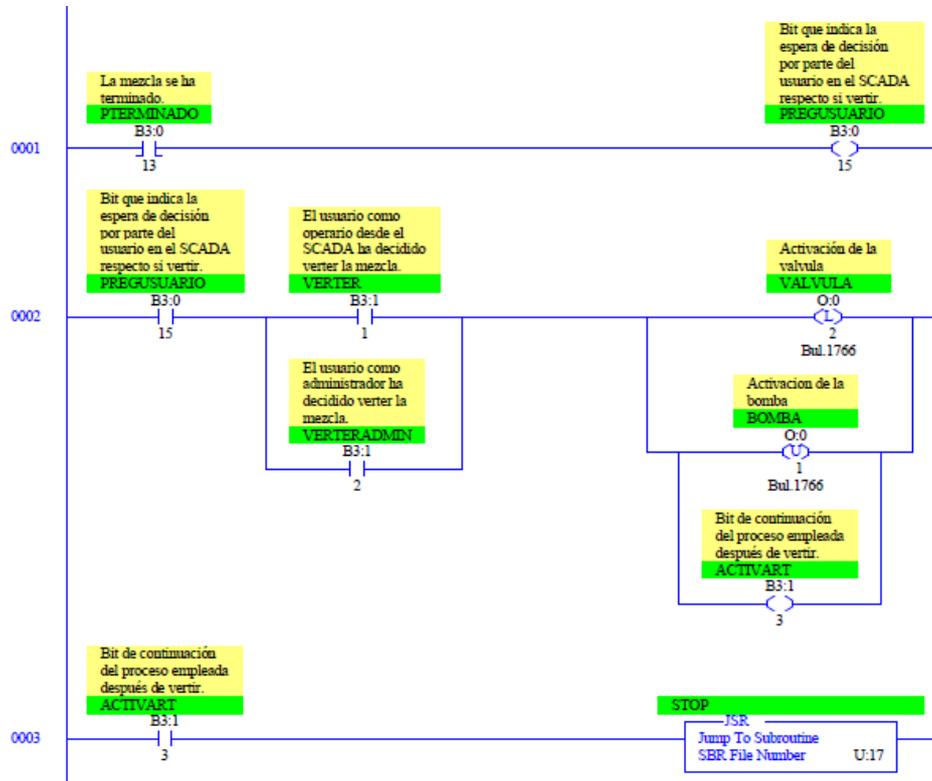


Ilustración 39 Control de la bomba y las válvulas (LAD 7)

- Control de pistón (Lad 10):** Esta subrutina se activará cuando el sistema se encuentre en modo automático, este en marcha y no se halla pulsado verter. El objetivo de esta subrutina es el de en un principio llevar el cowless al fondo del depósito, para después gracias a un contador elevarlo y bajarlo tres veces, pero siempre hasta que supere el nivel de la mezcla o llegue al tope del depósito. Una vez que el sistema va a realizar la tercera ascensión esta subrutina permite acceder a la siguiente subrutina:
  - Toma de datos (Lad 9):** En cuanto se comience a ejecutar esta subrutina comenzará a comparar el valor del esfuerzo del motor que realiza cada 200mm y comparará los datos para poder encontrar el punto en el cual se realiza el mayor esfuerzo y por ello también el punto con mayor densidad. Para una vez tomados todos los datos poder acceder desde la subrutina Lad 10 a la subrutina Lad 13.

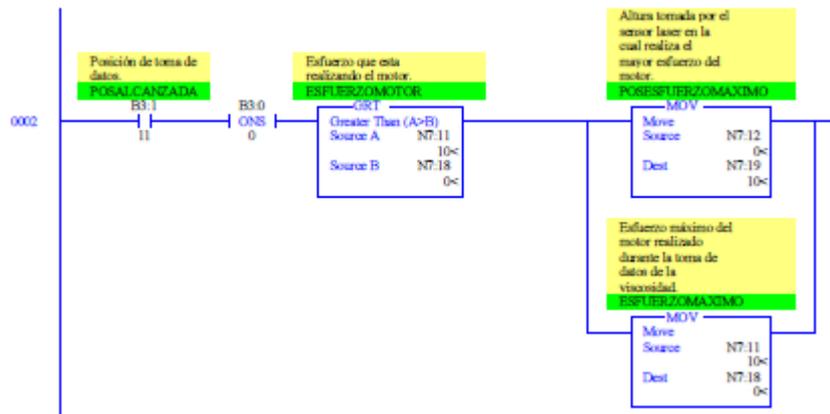


Ilustración 40 Control del esfuerzo máximo (LAD 9)

- **Buscar posición (Lad 13):** En esta subrutina lo único que se va a hacer es posicionar el cowless en la posición de mayor esfuerzo obtenida en el Lad 9 y permanecer allí un tiempo “x” el cual se controla mediante un reloj situado en la subrutina. Una vez pasado este tiempo desde esta misma subrutina se accede a otra distinta:
  - **Reinicio (Lad 14):** En esta subrutina se reinician todas las variables y bits empleadas por las subrutinas Lad 10, 9 y 13. Para con ello lograr volver a realizar el movimiento del pistón desde el principio.

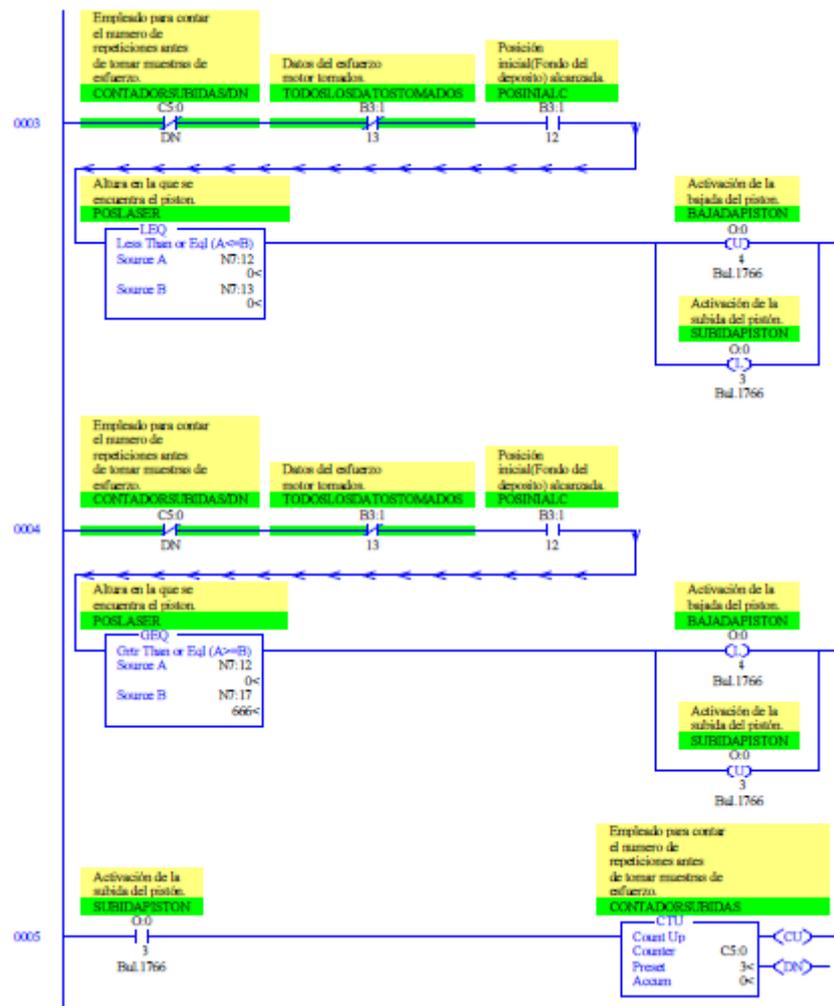


Ilustración 41 Control de subidas y bajadas (LAD 10)

- **Pistón medio (Lad 18):** Cuando el sistema está funcionando en automático y el sistema marca la mezcla como terminada en la subrutina Lad 5 se emplea la subrutina Lad 21 para calcular el punto medio de la altura de la mezcla y se mueve el cowless hasta dicho punto dejando un margen de error para que el pistón no se encuentre todo el rato en funcionamiento.
  - **Punto medio (Lad 21):** Cálculo del punto medio de la altura de la mezcla.
- **Pistón fondo (Lad 16):** Una vez que el usuario decide verter la mezcla esta subrutina moverá el cowless hasta el fondo del depósito.
- **Altura del líquido del tanque (Lad 18):** Esta subrutina está destinada a resolver errores de mediada debidos a malos posicionamientos de sensor, medidas erróneas o falta de rango. Por ello se añaden tanto a la altura máxima del tanque como a la máxima del

líquido un valor. Por defecto es “0” ya que en funcionamiento normal no debería de utilizarse.

- **Animación (Lad 15):** Esta subrutina solo se emplea para calcular el error de la viscosidad y que pueda ser visualizado por el usuario en el “SCADA”.
- **Control manual (Lad 8):** Subrutina empleada para que cuando desde el “SCADA” se desee controlar manual mente la máquina poder decidir la posición, la velocidad y el sentido de giro de la máquina. Así como poder controlar también las válvulas y la bomba.



Ilustración 42 Control manual (LAD 8)

- **Paro de emergencia (Lad 19):** Subrutina empleada para que cuando el usuario pulse el botón de “Stop” desde el “SCADA” pode detener la máquina y devolverla a la posición original.



Ilustración 43 Parada de emergencia (LAD 19)

- **Alarma de nivel (Lad 20):** Esta subrutina se encontrará todo el tiempo activa. Si el sistema se encuentra funcionando de forma automática y la mezcla toca el sensor de nivel máximo, el sistema impedirá a la máquina seguir acelerando y pondrá una velocidad un 3% menor a la actual a la máquina para impedir que vuelva a tocar el sensor. Y de forma manual presenta un comportamiento muy similar.

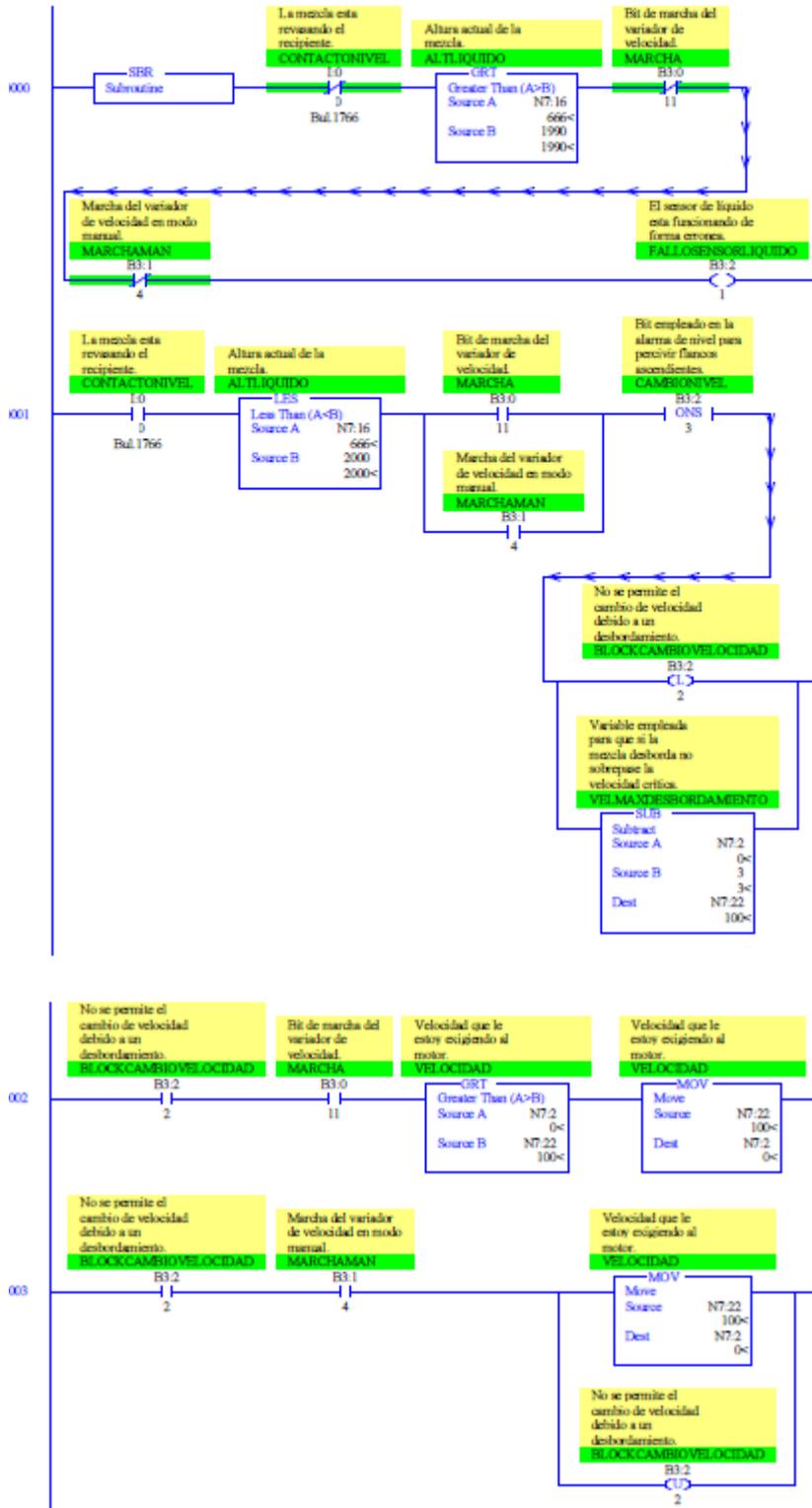


Ilustración 44 Alarma de nivel (LAD 20)

### 5.4 Programación del SCADA RView 32

En este apartado se explicará el funcionamiento del “SCADA” diseñado para la máquina. Cabe destacar que en este apartado solo se explicará el comportamiento de este, no se detallarán los tags ni las animaciones empleadas para obtener el resultado deseado.

La forma de navegación entre pantallas es la siguiente:

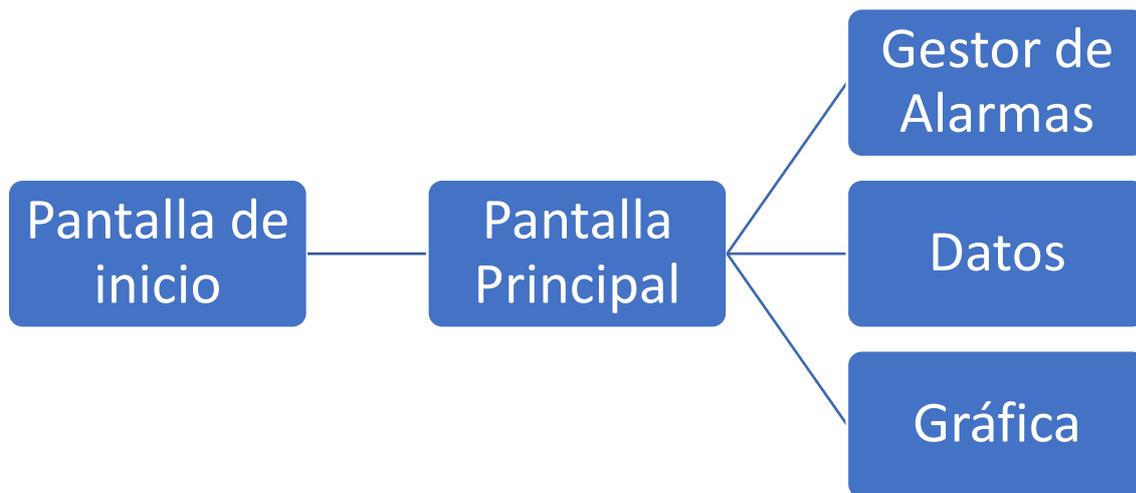


Tabla 20 Diagrama de navegación

#### 5.4.1 Pantalla de Inicio

Nada más iniciar el “SCADA” nos aparece la siguiente pantalla:

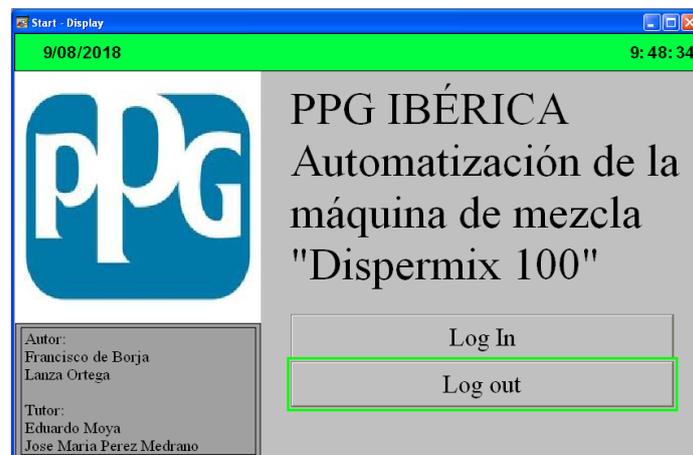


Ilustración 45 Página de inicio

Uno de los aspectos que se ha querido tener en cuenta para el diseño del “SCADA” es la seguridad del proceso. Por ello se ha configurado un sistema de seguridad basado en un

usuario y contraseña. De esta forma no se puede iniciar el programa sin estar identificado y dependiendo de tu identificación puedes acceder a diferentes funciones del programa. De esta forma se asegura que el operario no modifique por error parámetros que solo deberían de poder modificar gente cualificada como los de mantenimiento.

Una vez que se ha identificado el usuario, en este caso supongamos que es el operario, nos aparecerá la siguiente ventana la cual nos permitirá arrancar el programa:

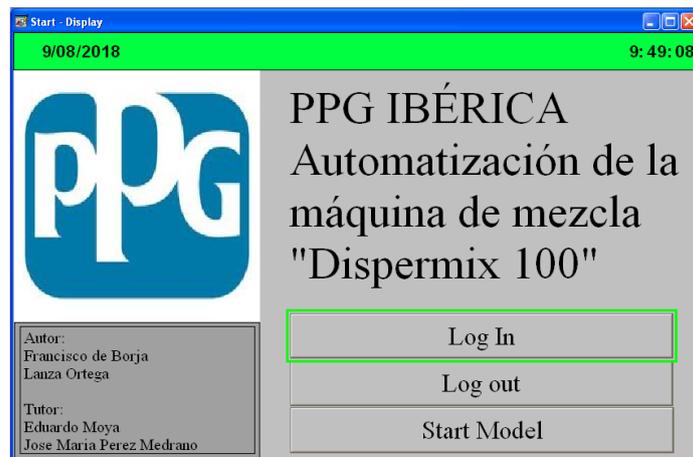


Ilustración 46 Página de inicio con usuario registrado

#### 5.4.2 Pantalla principal

Una vez se accede a la ventana principal esta puede aparecer de tres formas dependiendo de nuestra identificación:

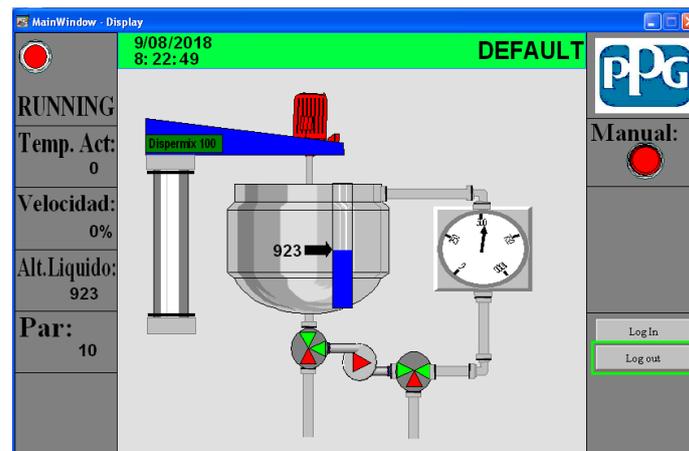


Ilustración 47 Pantalla principal sin usuario

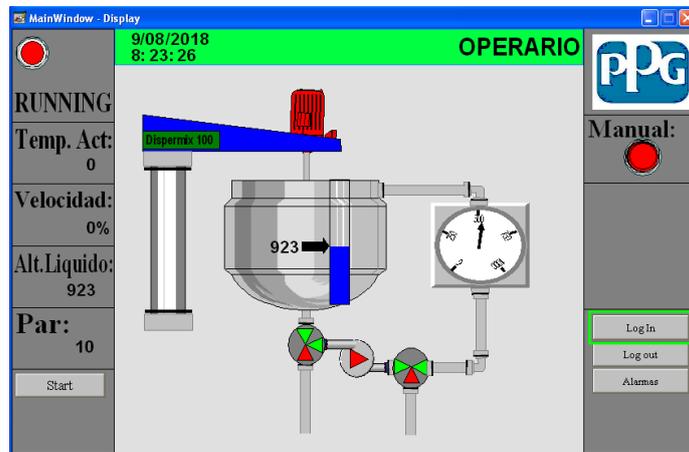


Ilustración 48 Pantalla principal con usuario "operario"

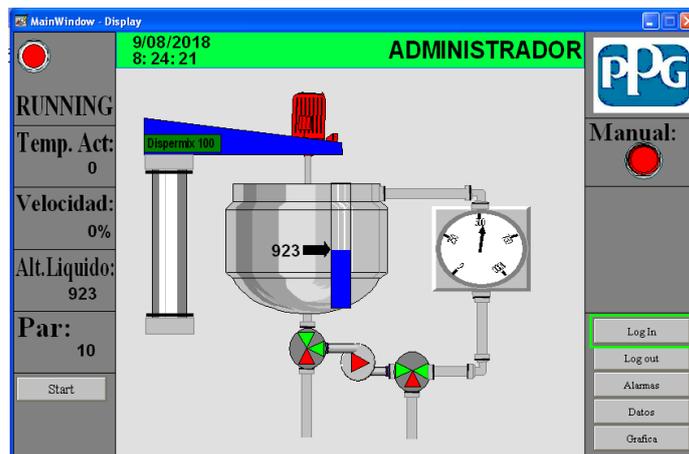


Ilustración 49 Pantalla principal con usuario "Administrador"

Aparte de las dos ventanas para el administrador y para el usuario, hay una tercera en caso de que no se haya identificado un usuario. Esta ventana se empleará cuando el usuario deba abandonar el puesto de trabajo donde se encuentra el "SCADA" o se deba de cambiar de usuario.

Los dos usuarios tienen permisos para iniciar el proceso en automático, sin embargo, solo se puede acceder a los datos de configuración como a la gráfica histórica si eres administrador.

Otra de las funciones de para la cual se aplica el sistema de seguridad es en el error en la viscosidad de la mezcla. Cuando un operario realiza una mezcla y el error de viscosidad es inferior al margen de error, no hay ningún problema, el programa simplemente permite al operario poder verter la mezcla cuando lo desee.

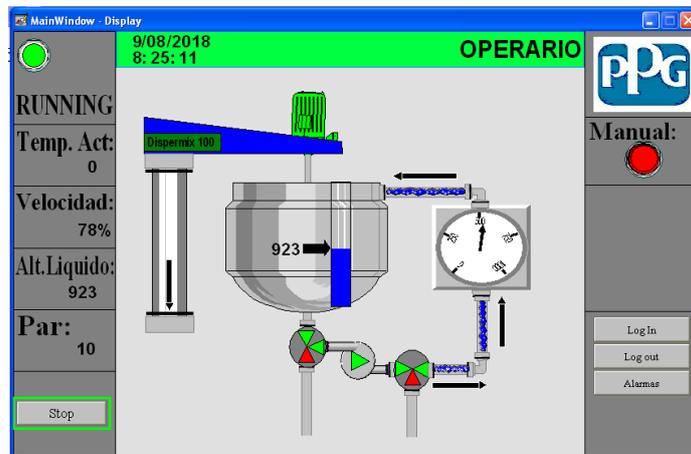


Ilustración 50 Pantalla principal en mitad del proceso

Sin embargo, si la mezcla excede ese margen de error lo que nos aparece es lo siguiente:

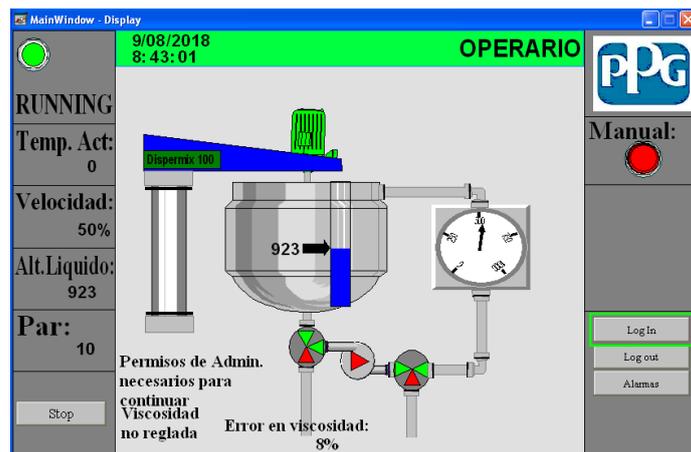


Ilustración 51 Pantalla principal con error en la viscosidad

En este caso es necesario que el personal cualificado compruebe porque la mezcla no cumple la viscosidad esperada, y después solo el usuario cuando se identifique como administrador será capaz de verter la mezcla.

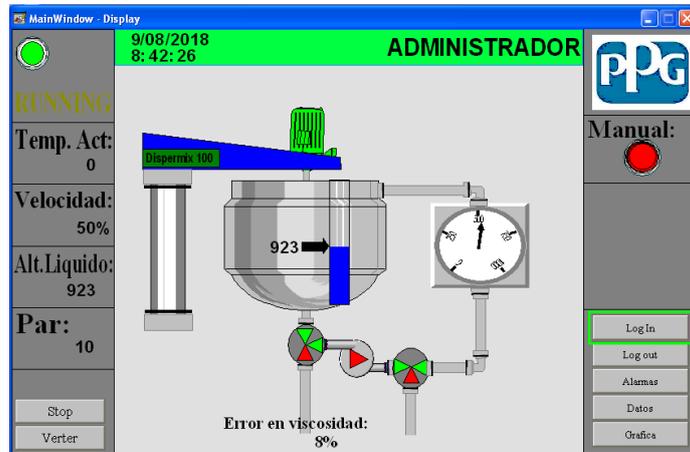


Ilustración 52 Pantalla principal con error de viscosidad como Administrador

Una vez el usuario tanto administrador como operario decidan verter la mezcla la pantalla mostrará lo siguiente:

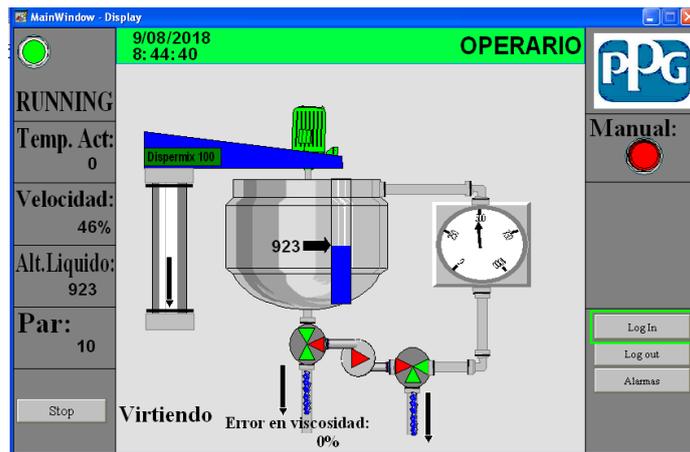


Ilustración 53 Pantalla principal con el fin del proceso

Una vez explicado cual es el comportamiento de esta pantalla según el usuario se procede a explicar la animación empleada en la pantalla. Para ello se emplea la siguiente imagen la cual muestra todos los elementos de esta pantalla:

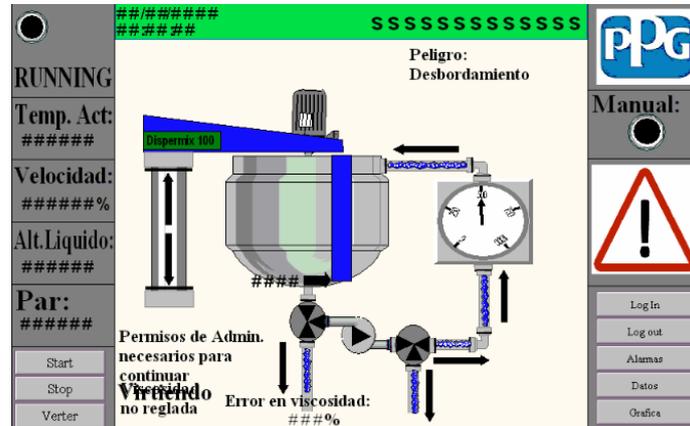


Ilustración 54 Pantalla principal en edición

En la columna de la izquierda en la parte superior se encuentra una luz que se pone a verde cuando la máquina está funcionando en automático y la palabra “RUNNING” que pasará a parpadear en verde. Por debajo de él se puede observar cuatro displays de datos de la dispersora. Y abajo del todo tres botones que dependiendo en que momento del proceso se encuentre la máquina, de la identificación del usuario y si se está trabajando en manual o automático se podrán encontrar los botones habilitados o deshabilitados.

Tampoco se podrá pulsar “Start” si el nivel de la mezcla es muy bajo o el cowless se encuentra fuera del depósito.

En la parte superior se puede encontrar una barra en la cual en la parte izquierda se encuentran la fecha y la hora, mientras que en la derecha aparece el usuario el cual se encuentra registrado en este momento.

En la columna de la derecha se puede encontrar el logo de PPG seguido de una luz la cual se ilumina en caso de que la máquina esté funcionando en manual y por ello no se podría poner la máquina en funcionamiento en automático. Seguido de una señal de alarma la cual aparecerá en caso de mal funcionamiento del sensor de nivel de la mezcla o un exceso de temperatura. Cuando esta señal sea pulsada se abrirá una nueva ventana indicándonos de que alarma se trata.



Ilustración 55 Pantalla de alarma de temperatura

Y ya debajo de la señal de alarma se encuentran los botones para cambiar de usuario, así como el de acceder al registro de alarmas, y dos más que solo son accesibles si estas identificado como administrador.

En la pantalla central se puede encontrar una representación de la máquina la cual se está controlando. De esta cabe destacar el cambio de color del motor dependiendo si está en marcha o en paro, una barra que muestra tanto de forma visual como mediante un display el nivel de la mezcla, las dos válvulas, que con los cambios de nivel indican en qué posición se encuentran ellas mismas, la bomba que cambia de color para indicar si está en marcha o en paro, el viscosímetro que cuenta con una representación visual de la viscosidad que está midiendo en este momento, varias flechas que parpadean y aparecen cuando la máquina está en marcha para indicar la dirección de la mezcla, otras flechas que nos indican si el pistón está elevando la máquina o bajándola de la posición actual y una animación de propia máquina para que muestre como se eleva la máquina así como para poder observar si el cowless se encuentra fuera del depósito.

Así sería como se ve la pantalla en caso de que la dispermix tuviera el cowless fuera del depósito:

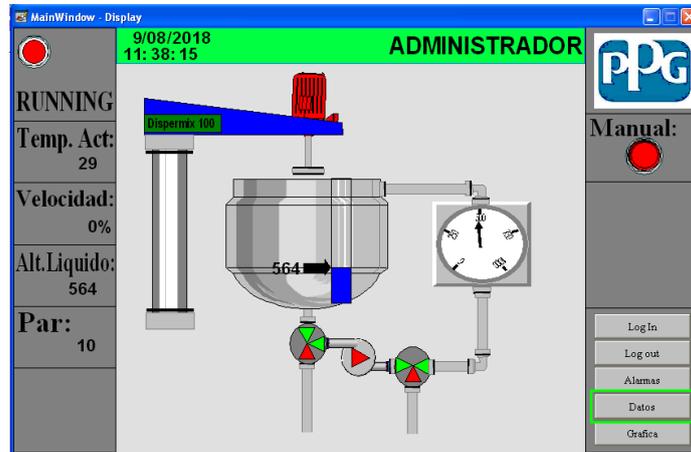


Ilustración 56 Pantalla principal con el cowless fuera del deposito

#### 5.4.3 Gestor de alarmas

La pantalla que se procede a explicar en este apartado el gestor de alarmas, la cual se accede cuando en la ventana principal pulsamos el botón “Alarma”. Es esta ventana se registran todas las alarmas programadas. Como es el desbordamiento o el exceso de temperatura.

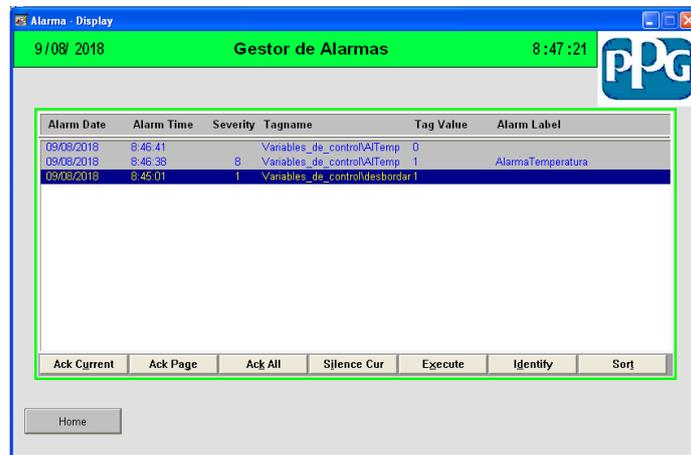


Ilustración 57 Pantalla de alarmas

Esta ventana es accesible tanto si el usuario se encuentra identificado como operario o como administrador.

#### 5.4.4 Datos del proceso

La ventana de datos del proceso permite al usuario comprobar los datos de configuración del sistema, así como cambiarlos en caso de que fuese necesario.

Esta ventana solo es accesible si el usuario se ha identificado como administrador.

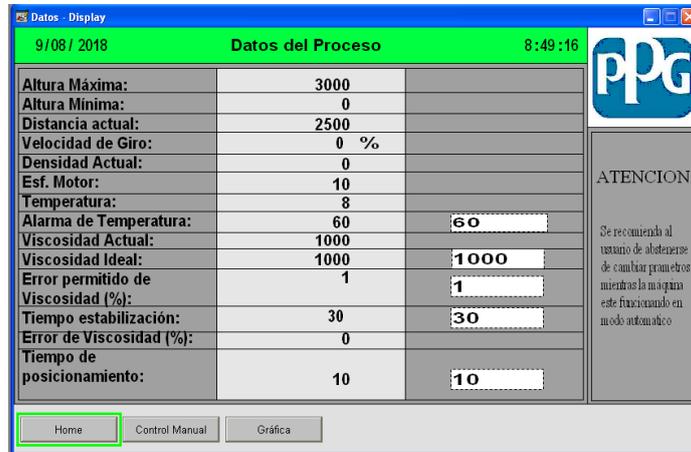


Ilustración 58 Pantalla de datos del proceso

#### 5.4.5 Control manual

Esta pantalla al igual que la anterior solo es accesible si el usuario se ha identificado como administrador. El objetivo de esta pantalla es el de lograr que el usuario sea capaz de controlar independientemente cada uno de los elementos del sistema.

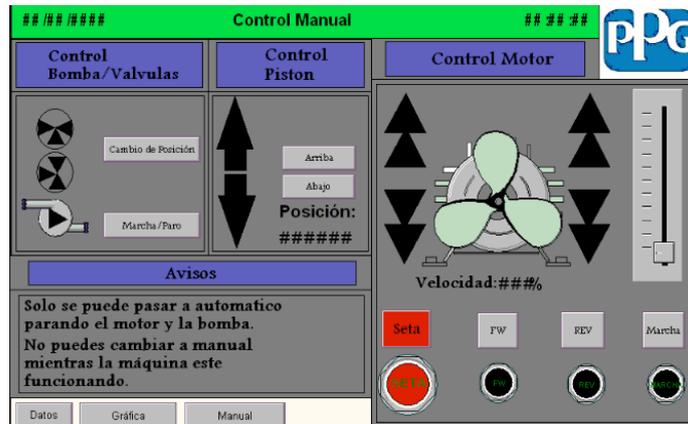


Ilustración 59 Pantalla de control manual en edición

En la imagen superior se pueden observar todos los elementos que forman parte de la pantalla. Todos estos elementos aparecerán o desaparecerán según diferentes condiciones. Se pueden observar cinco subdivisiones de la pantalla: control motor, control pistón, control bomba/válvula, avisos y los botones.

Cuando la máquina se encuentra en modo automático la pantalla resulta de la siguiente forma:

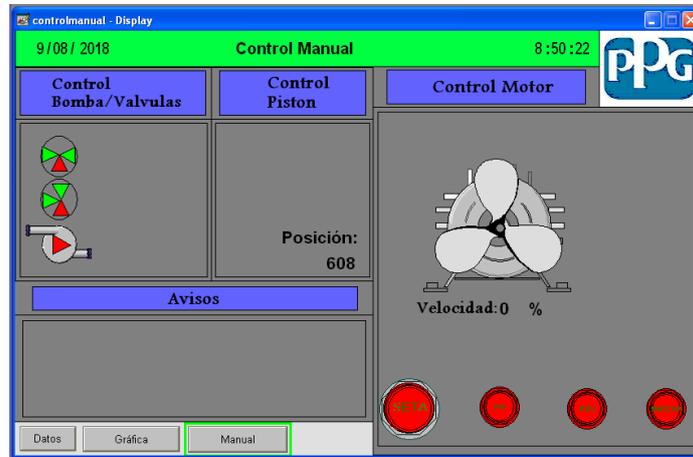


Ilustración 60 Pantalla de control manual en el programa

Para poder controlar el sistema de forma manual se deberá pulsar el botón que pone automático para que aparezcan los botones que se puedan pulsar. Resultando:



Ilustración 61 Programa de control manual en funcionamiento

Con todo esto se procede a explicar todas las animaciones presentes en esta pantalla:

Los botones para elevar o bajar el pistón desaparecen si el pistón se encuentra en ya en la posición máxima o mínima, cuando la bomba esté funcionando no es posible cambiar la posición de las válvulas, así como tampoco es posible encender la bomba si no están las válvulas en la posición correcta. En el control motor solo se puede poner en marcha el motor si la seta esta activada y la dirección esta seleccionada, y solo se puede quitar la marcha o cambiar de sentido de giro si la velocidad del motor es nula. Tampoco se puede cambiar de manual a automático si el motor ya está funcionando.

Por otro lado, también se puede observar que el aspa que aparece en la pantalla gira en el mismo sentido que el motor, así como un par de flechas para hacerlo aún más noticiable, también hay otras flechas que indicarán al usuario si el pistón se está elevando o descendiendo.

Por último, en el apartado de avisos se encuentran dos indicaciones que indicarán al usuario diferentes consideraciones para el control manual.

#### 5.4.6 Gráfica

La última ventana que forma parte del programa es la siguiente:

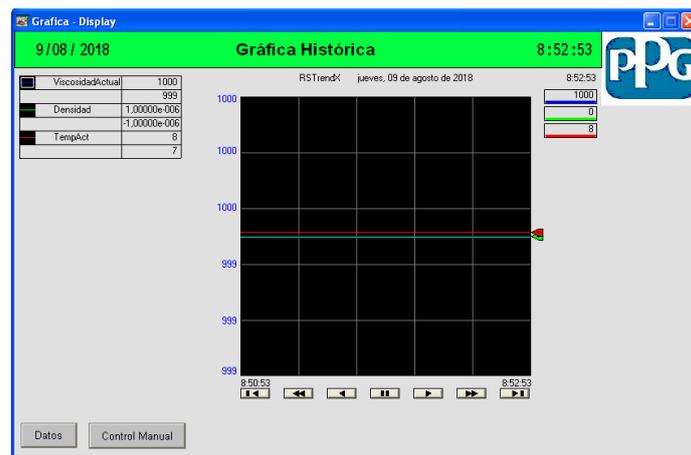


Ilustración 62 Pantalla de recolección de datos mediante una gráfica

En esta ventana se muestra una gráfica con los datos históricos de la viscosidad, la densidad y la temperatura.

### 5.5 Programación del regulador de frecuencia Powerflex 525

Para el funcionamiento de la dispermix se empleará un powerflex 525 para poder controlar la velocidad de giro. Se Configurará este regulador de frecuencia de tal forma que cuente con cinco entradas respecto del autómatas. Las cuáles serán:

1. Seta de emergencia.
2. Sentido de giro forward.
3. Sentido de giro reverse.
4. Marcha del regulador de frecuencia.
5. Entrada de 0-10V por la cual determinamos la velocidad desde el autómatas.

Para poder realizar estas modificaciones se han modificado una serie de parámetros los cuales se procede a narrar ahora. El resto de los parámetros se pueden encontrar en el anexo 3 en el cual se puede observar todos los parámetros de configuración del sistema.

Lo primero que se debe realizar es localizar la tabla con las correspondientes entradas que se desean utilizar:

Designaciones de terminales de E/S de control

N.º	Señal	Predeterminado	Descripción	Parámetro
R1	Relé 1 N.A.	Fallo	Contacto normalmente abierto para el relé de salida.	
R2	Común de relé 1	Fallo	Común del relé de salida.	1076
R5	Común de relé 2	Motor en marcha	Común del relé de salida.	
R6	Relé 2 N.C.	Motor en marcha	Contacto normalmente cerrado del relé de salida.	1081
01	Paro	Inercia	Paro de tres hilos. Sin embargo, funciona como paro bajo todos los modos de entrada y no puede inhabilitarse.	P045 <sup>(1)</sup>
02	Digin TermBik 02/ Arranque/Marcha Aván	Marcha Aván	Se usa para iniciar el movimiento y puede también usarse como entrada digital programable. Puede programarse con 1062 [Digin TermBik 02] como control de tres hilos (Arranque/Dtr con paro) o de dos hilos (Marcha Aván/Marcha Retr).	P045, P046, P048, P050, A344, 1062
03	Digin TermBik 03/ Dtr/Marcha Retr	Marcha Retr	Se usa para iniciar el movimiento y puede también usarse como entrada digital programable. Puede programarse con 1063 [Digin TermBik 03] como control de tres hilos (Arranque/Dtr con paro) o de dos hilos (Marcha Aván/Marcha Retr).	1063
04	Común digital	-	Retorno para E/S digital. Eléctricamente aislado (junto con la E/S digital) del resto del variador.	-
05	Digin TermBik 05	Frec. presei	Se programa con 1065 [Digin TermBik 05].	1065
06	Digin TermBik 06	Frec. presei	Se programa con 1066 [Digin TermBik 06].	1066
07	Digin TermBik 07/ Entr impuls	Fuente inicio 2 + Ref veloc 2	Se programa con 1067 [Digin TermBik 07]. También funciona como entrada de tren de impulsos para retroalimentación de referencia o velocidad. La frecuencia máxima es de 100 kHz.	1067
08	Digin TermBik 08	Impuls adel	Se programa con 1068 [Digin TermBik 08].	1068
C1	C1	-	Este terminal está vinculado directamente a los blindajes de RJ-45 y USB en la tarjeta de circuitos impresos (PCB) del teclado. Vincula este blindaje a la tierra física para mejorar la inmunidad contra el ruido cuando se usan periféricos de comunicación externa.	-
C2	C2	-	Este es el común de señal para las señales de comunicación.	-
S1	Seguridad 1	-	Entrada de seguridad 1. El consumo de corriente es 6 mA.	-
S2	Seguridad 2	-	Entrada de seguridad 2. El consumo de corriente es 6 mA.	-
S+	Seguridad +24 V	-	Suministro de +24 VCC para el circuito de seguridad. Internamente vinculado al suministro de +24 VCC (pin 11).	-
11	+24 VCC	-	Referenciada al común de las señales digitales. Alimentación eléctrica suministrada por el variador para las entradas digitales. La corriente máxima de salida es de 100 mA.	-
12	+10 VCC	-	Referenciada al común de las señales analógicas. Alimentación eléctrica suministrada por el variador para el potenciómetro externo de 0...10 V. La corriente máxima de salida es de 15 mA.	P047, P049

Tabla 211 Configuración de E/S 1 [25]

Designaciones de terminales de E/S de control

N.º	Señal	Predeterminado	Descripción	Parámetro
13	Ent. $\pm 10$ V	Inactivo	Para suministro de entrada externo 0 – 10 V (unipolar) o $\pm 10$ V (bipolar) o contacto deslizante de potenciómetro. Impedancia de entrada: Fuente de voltaje = 100 k $\Omega$ Rango de resistencia de potenciómetro permitido = 1... 10 k $\Omega$	<a href="#">P047</a> , <a href="#">P049</a> , <a href="#">I062</a> , <a href="#">I063</a> , <a href="#">I065</a> , <a href="#">I066</a> , <a href="#">I093</a> , <a href="#">A459</a> , <a href="#">A471</a>
14	Común analógico	–	Retorno para E/S analógica. Eléctricamente aislado (junto con la E/S analógica) del resto del variador.	–
15	Ent 4-20 mA	Inactivo	Para suministro de entrada de 4 – 20 mA externo. Impedancia de entrada = 250 $\Omega$	<a href="#">P047</a> , <a href="#">P049</a> , <a href="#">I062</a> , <a href="#">I063</a> , <a href="#">I065</a> , <a href="#">I066</a> , <a href="#">A459</a> , <a href="#">A471</a>
16	Salida analógica	FrecSal 0-10	La salida analógica predeterminada es de 0 – 10 V. Para convertir a un valor de corriente, cambie el puente de salida analógica a 0 – 20 mA. Se programa con t088 [Sel. Sal. Anlg.]. El valor analógico máximo se puede escalar con t089 [Sel. Anlg. Máx.]. Carga máxima: 4 – 20 mA = 525 $\Omega$ (10.5 V) 0 – 10 V = 1 k $\Omega$ (10 mA)	<a href="#">t088</a> , <a href="#">t089</a>
17	Salida Óptica 1	Motor en marcha	Se programa con t069 [Sel Sal Óptica1]. Cada salida óptica tiene una clasificación de 30 VCC, 50 mA (no inductiva).	<a href="#">t069</a> , <a href="#">t070</a> , <a href="#">t075</a>
18	Salida Óptica 2	A frecuencia	Se programa con t072 [Sel Sal Óptica 1]. Cada salida óptica tiene una clasificación de 30 VCC, 50 mA (no inductiva).	<a href="#">t072</a> , <a href="#">t073</a> , <a href="#">t075</a>
19	Común óptico	–	Los emisores de las salidas de optocoplador (1 y 2) se vinculan en el común del optocoplador. Eléctricamente aislados del resto del variador.	–

Tabla 222 Configuración de E/S 2 [25]

En estas dos tablas se pueden observar todas las entradas que se necesitarán, así como los parámetros de configuración relacionados con ellas.

Se procede a la tabla correspondiente:

## Grupo de bloques de terminales

t062 [DigIn TermBlk 02] t063 [DigIn TermBlk 03]  
 t065 [DigIn TermBlk 05] t066 [DigIn TermBlk 06]  
 t067 [DigIn TermBlk 07] t068 [DigIn TermBlk 08]

Parámetro(s) relacionado(s): [b012](#), [b013](#), [b014](#), [P045](#), [P046](#), [P048](#), [P049](#), [P050](#), [P051](#), [I064](#), [I086](#), [A410-A425](#), [A427](#), [A431](#), [A432](#), [A433](#), [A434](#), [A435](#), [A442](#), [A443](#), [A488](#), [A535](#), [A560](#), [A562](#), [A563](#), [A567](#), [A571](#)

Detener el variador antes de cambiar este parámetro.

Entrada digital programable. Los cambios hechos a estas entradas se hacen efectivos a medida que se introducen. Si una entrada digital se establece para una selección que solo puede usarse en una entrada, ninguna otra entrada podrá establecerse para la misma selección.

Opciones		
0	"No se usa"	El terminal no tiene función pero puede leerse con comunicación de red a través de <a href="#">b013</a> [Estado ent Cntrl] y <a href="#">b014</a> [Estado ent digit].
1	"Ref veloc 2"	Selecciona <a href="#">P049</a> [Ref Veloc 2] como comando de velocidad del variador.
2	"Ref veloc 3"	Selecciona <a href="#">P051</a> [Ref Veloc 3] como comando de velocidad del variador.
3	"Inic Src 2"	Selecciona <a href="#">P048</a> [Fuente Arranq 2] como fuente de control para arrancar el variador.
4	"Inic Src 3"	Selecciona <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq 3] como fuente de control para arrancar el variador.
5	"Veloc+Inic 2"	[DigIn TermBlk 07] predeterminado. Selecciona la combinación de <a href="#">P049</a> [Ref veloc 2] y <a href="#">P048</a> [Fuente Arranq 2] como comando de velocidad con fuente de control para arrancar el variador.
6	"Veloc+Inic 3"	Selecciona la combinación de <a href="#">P051</a> [Ref veloc 3] y <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq 3] como comando de velocidad con fuente de control para arrancar el variador.
7	"Frec presel" (solo para DigIn TermBlk 05...08)	[DigIn TermBlk 05] y [DigIn TermBlk 06] predeterminados. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecciona una frecuencia preseleccionada en el modo de velocidad (<a href="#">P047</a>, <a href="#">P049</a>, <a href="#">P051</a> [Ref veloc x] = 1...15). Vea <a href="#">A410</a>...<a href="#">A425</a> [Frec presel x].</li> <li>• Selecciona una frecuencia y posición preseleccionada en el modo de posicionamiento (<a href="#">P047</a>, <a href="#">P049</a>, <a href="#">P051</a> [Ref veloc x] = 16). Vea <a href="#">I200</a>...<a href="#">I214</a> [Unid paso x].</li> </ul> <p><b>IMPORTANTE</b> Las entradas digitales tienen prioridad para control de frecuencia cuando se programan como velocidad preseleccionada y están activas. Vea la <a href="#">Selección de fuente de arranque y referencia de velocidad en la página 40</a> para obtener más información.</p>
8	"Impuls"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando la entrada está presente, el variador acelera según el valor establecido en <a href="#">A432</a> [Impulsos Ace/Dec] y cambia gradualmente al valor establecido en <a href="#">A431</a> [Frecuencia test].</li> <li>• Cuando se elimina la entrada, el variador cambia gradualmente a paro según el valor establecido en <a href="#">A432</a> [Impulsos Ace/Dec].</li> <li>• Un comando válido de inicio anulará esta entrada.</li> </ul>

Tabla 23 Configuración del bloque de terminales 1 [25]

Opciones		
47	Reservado	
48	"2 cond FWD" (solo para DigIn TermBlk 02)	[DigIn TermBlk 02] predeterminado. Selecciona 2 cond FWD para esta entrada. Selecciona esta opción y establece <a href="#">P046</a> , <a href="#">P048</a> o <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq x] en 2 "DigIn TrmBlk" para configurar [Fuente Arranq x] en un modo de marcha de avance de 2 conductores. También vea <a href="#">I064</a> [Modo 2 conduct] para los ajustes de disparo de nivel.
49	"Arrnq 3 cond" (solo para DigIn TermBlk 02)	Seleccione Arrnq 3 cond para esta entrada. Selecciona esta opción y establece <a href="#">P046</a> , <a href="#">P048</a> o <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq x] en 2 "DigIn TrmBlk" para configurar [Fuente Arranq x] en un modo de arranque de 3 conductores.
50	"REV 2 cond" (solo para DigIn TermBlk 03)	[DigIn TermBlk 03] predeterminado. Selecciona REV 2 cond para esta entrada. Selecciona esta opción y establece <a href="#">P046</a> , <a href="#">P048</a> o <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq x] en 2 "DigIn TrmBlk" para configurar [Fuente Arranq x] en un modo de marcha en retroceso de 2 conductores. También vea <a href="#">I064</a> [Modo 2 conduct] para los ajustes de disparo de nivel.
51	"Dir 3 cond" (solo para DigIn TermBlk 03)	Seleccione Dir 3 cond para esta entrada. Selecciona esta opción y establece <a href="#">P046</a> , <a href="#">P048</a> o <a href="#">P050</a> [Fuente Arranq x] en 2 "DigIn TrmBlk" para cambiar la dirección de [Fuente Arranq x].
52	"Tren impuls" (solo para DigIn TermBlk 07)	Selecciona tren de impulsos para esta entrada. Use <a href="#">P047</a> , <a href="#">P049</a> y <a href="#">P051</a> [Ref Veloc x] para seleccionar la entrada de impulso. El puente para DigIn TermBlk 07 Sel debe moverse a Entr impuls.

Tabla 24 Configuración del bloque de terminales 2 [25]

Y en base a ella se realizan las siguientes modificaciones para configurar las entradas digitales:

T062 → 49 [Arranque de la máquina]

T063 → 50 [Sentido de giro]

T065 → 5 [Inicio de funcionamiento]

Las cuales nos permiten un arranque a tres hilos y movernos según la velocidad y el arranque de la configuración “2”.

Como se puede observar gracias a la siguiente gráfica por defecto la velocidad de la configuración “2” ya viene programada para funcionar respecto a una entrada 0-10 Voltios.

P047 [Ref Veloc 1] Parámetro(s) relacionado(s): [C125](#)  
P049 [Ref Veloc 2]  
P051 [Ref Veloc 3]

Selecciona la fuente del comando de velocidad para el variador. Los cambios hechos a estas entradas se hacen efectivos a medida que se introducen. P047 [Ref Veloc 1] es la referencia de velocidad predeterminada de fábrica, a menos que se anule.  
Vea la [Control de referencia de arranque y velocidad en la página 40](#) para obtener más información.

Opciones		
1	"Pot variador"	[Ref Veloc 1] predeterminado
2	"Frec teclado"	
3	"Serie/DSI"	
4	"Opc Red"	
5	"Entr 0-10V"	[Ref Veloc 2] predeterminado
6	"Entr 4-20mA"	
7	"Preaj frec"	
8	"EntrMultAna"	
9	"MOP"	
10	"Entr impuls"	
11	"Salida PID1"	
12	"Salida PID2"	
13	"Paso lógico"	
14	"Codif"	
15	"EtherNet/IP"	[Ref Veloc 3] predeterminado
16	"Posicionando"	Referencia desde <a href="#">A558</a> [Modo posic.]

Tabla 25 Configuración del control de la velocidad [25]

Y la fuente de arranque de la configuración “2” también está diseñada para funcionar como una entrada por los bornes físicos del regulador de frecuencia.

P046 [Fuente Arranq 1] Parámetro(s) relacionado(s): [b012](#), [C125](#)  
P048 [Fuente Arranq 2]  
P050 [Fuente Arranq 3]

 Detener el variador antes de cambiar este parámetro.

Configura la fuente de arranque del variador. Los cambios hechos a estas entradas se hacen efectivos a medida que se introducen. P046 [Fuente Arranq 1] es la fuente de arranque predeterminada de fábrica, a menos que se anule.  
Vea la [Control de referencia de arranque y velocidad en la página 40](#) para obtener más información.

Opciones		
1	"Teclado"	[Fuente Arranq 1] predeterminado
2	"DigIn TrmBlk"	[Fuente Arranq 2] predeterminado
3	"Serie/DSI"	
4	"Opc Red"	
5	"EtherNet/IP"	[Fuente Arranq 3] predeterminado

Tabla 26 Configuración de la señal de arranque [25]

Por último, nos faltaría programar la frecuencia máxima para lo cual modificamos el siguiente parámetro:



**P044 [Frecuencia Máx.]**

Parámetro(s) relacionado(s): [b001](#), [b002](#), [b013](#), [b016](#), [P043](#), [A530](#), [A531](#)

 Detener el variador antes de cambiar este parámetro.

Establece la más alta frecuencia que produce el variador.

**IMPORTANTE** Este valor debe ser mayor que el valor establecido en P043 [Frecuencia Mín.].

Valores	Predeterminado:	60.00 Hz
	Mín./Máx.:	0.00/500.00 Hz
	Pantalla:	0.01 Hz

*Tabla 27 Configuración de la velocidad máxima [25]*

P044 → 300 [Establece la frec. Max. a 300Hz.]



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 6-FASES



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**

## 6 Fases

En este capítulo se explicarán todas las fases que se han realizado para poder realizar la actualización de la máquina.

Las distintas fases que se han aplicado en este proyecto son:

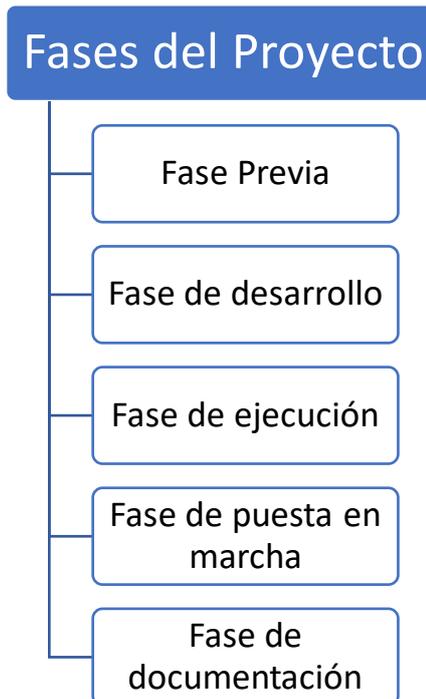


Tabla 288 Fases del proyecto

### 6.1 Fase previa

El propósito de esta fase es la de comprobar el estado actual de la máquina y la instalación en la que se encuentra, así como dilucidar las posibles mejoras que se pueden realizar en la máquina.

Las distintas sub-fases que se pueden encontrar en esta fase son:

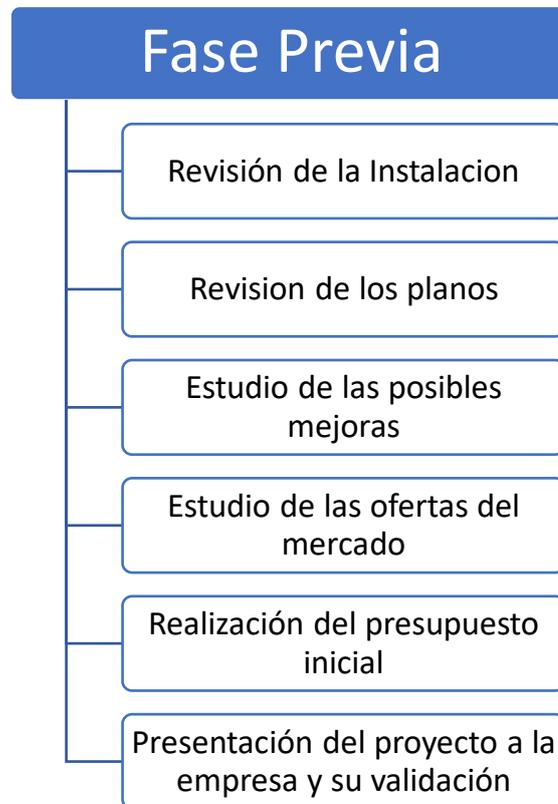


Tabla 29 Sub-fases de la fase previa

#### 6.1.1 Revisión de la instalación

Antes de comenzar a poder planificar cualquier mejora es necesario poder comprobar el estado actual de la máquina, ya que se trata de una máquina de alrededor de 50 años que ha estado funcionando de manera ininterrumpida.

Por ello se realiza una revisión previa primero de manera visual para comprobar si hay alguna clase de desperfecto en la máquina. Se comprueba también mediante las hojas de especificaciones de la máquina las características de la máquina para poder conocer sus limitaciones, así como las posibles modificaciones que se podrían realizar en la máquina.

También se comprobará mediante los planos de la instalación el lugar donde se encuentra la máquina para conocer el espacio disponible para el posible equipamiento extra, así como las normas de seguridad que deberán cumplir los elementos utilizados en la renovación.

Todos los planos, así como la hoja de características de la máquina se pueden encontrar en el anexo.

#### 6.1.2 Revisión de los planos tanto de la máquina como de la instalación

En esta etapa se comprobará las condiciones en las que trabaja la máquina mediante los planos y la documentación relativa a la misma.

También se comprobará mediante la hoja de características las posibles mejoras.

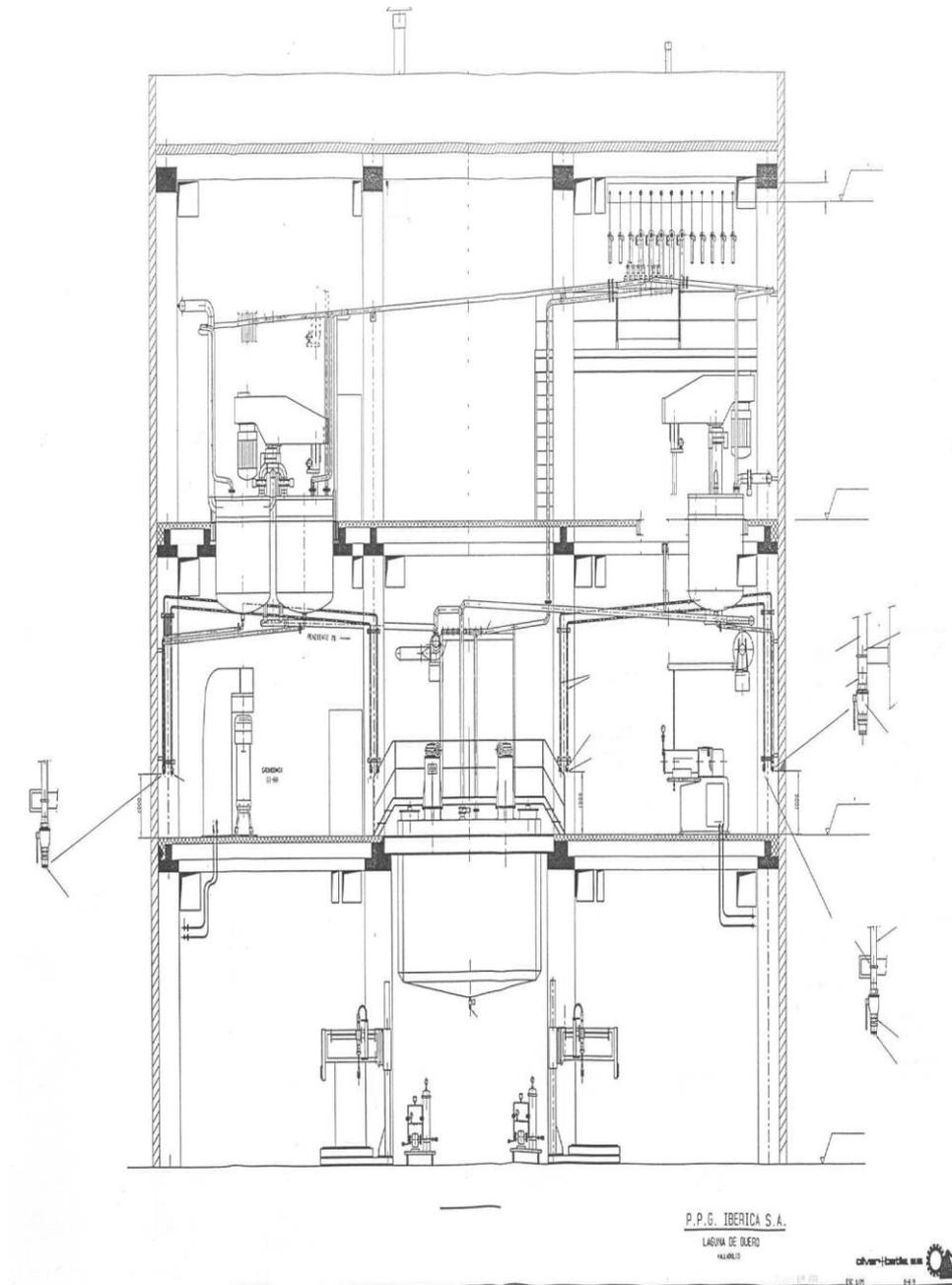


Ilustración 63 Localización de la dispersora

Gracias a los planos se ha podido comprobar que la máquina se encuentra situada en una zona en la cual se encuentran partículas en suspensión, y no solo eso, sino que estas partículas son inflamables.



Por ello los elementos que se añadan a la máquina deberán cumplir la normativa ATEX la cual regula las características y debido a las modificaciones realizadas a la máquina también se le deberá realizar una nueva documentación para volver acreditarla con el marcado CE.

#### 6.1.3 Estudio de las posibles mejoras

Los principales objetivos de mejora planteados para esta máquina son:

- Automatización de la máquina
- Reducción del consumo energético
- Aumento de la producción
- Reducción del tiempo de la mezcla

Simplemente con una observación directa de la máquina y su hoja de características se puede observar que cuenta con un regulador de velocidad mecánico, lo cual es muy ineficiente desde un punto de vista energético. Por ello se propone intercambiarlo por un variador de frecuencia.

También se comprueba que es posible eliminar la botonera actual con la cual cuenta la máquina para su control y sustituirlo con un autómatas programable.

También se propone además añadir al sistema un viscosímetro en línea, este sistema ha sido recientemente añadido al mercado y en la actualidad es el único en el mercado para gracias al poder conocer cuando la mezcla se encuentra terminada. Con ello logrando ahorrar tiempo y energía en el proceso.

#### 6.1.4 Estudio de las ofertas del mercado

Una vez que se han determinado las mejoras a realizar en nuestro sistema se dispondrá a pedir a los diferentes suministradores de los correspondientes elementos, que cumplan todos los requisitos necesarios, una oferta para poder realizar un presupuesto.

Debido a que los elementos se adquirirán a través de la empresa los componentes se encuentran limitados a las casas de los fabricantes que la empresa autorice.

#### 6.1.5 Realización del presupuesto inicial

Una vez obtenidas las ofertas de todos los elementos necesarios para la renovación del equipo se procede a la elaboración de un presupuesto inicial el cual contará únicamente con los elementos necesarios para la renovación, pero no la mano de obra.

A continuación, se muestran el conjunto de todos los elementos utilizados en la renovación con sus correspondientes precios ofertados a la empresa:



Material	Precio U(€/Unidad)
20-HIM-A6	246.00
20-750-EMC1-F4	162.00
20-750-ENETR	924.00
20-750-NEMA1-F6	95.00
Powerflex 750 20F11NC072JA0NNNNN	3,216.00
Vibracon LVL-M2-T61BB-A1N1NA-E2.0400	773.88
Amplificador Separador KFD2-SR2-EX2.W	140.17
ABB LLT100.AI.C.H.10.L5-E01	2,317.00
Rosemount 2051 Transmisor de presión en línea 2051TG2A2B22BK1M5D4	2,925.00
EMR FREIGHT & HANDLING:FREIGHT HANDLING	73.13
ARO 666-370-C	1,498.00
Válvula de 3 vías	170.00
Cable de 95mm	11.88
Cable de 1,5mm	0.15
Endress+Hauser Promass 300	8,670.00

Tabla 30 Listado de materiales



#### 6.1.6 Presentación del proyecto a la empresa y su validación

Una vez obtenida toda la información se procede a presentar a la empresa el proyecto haciendo un cálculo inicial del posible presupuesto y exponiendo las ventajas que supondría la realización de este proyecto.

A continuación, se muestra un pequeño fragmento del apartado 1.4 como ejemplo de la forma en la que se justifica la inversión en la renovación de la máquina:

Supongamos que la máquina por cada mezcla toma alrededor de 2h. El motor de 100cv que posee la dispersora sería en kw/h 75.54. Esto se cumple solo si las pérdidas son casi nulas, sin embargo, el dispersor actual cuenta con un sistema de cambio de velocidad mecánico lo cual produce una pérdida de energía considerable. Por lo tanto, suponiendo que la máquina tiene unas pérdidas aproximadas del 24% podemos calcular que el consumo energético sería de 93.67 kw/h, y siendo en España el precio del kw/h a 0.161 € sería que cada mezcla nos costaría 30.16€.

Con el nuevo sistema lograríamos reducir el tiempo del proceso alrededor de un 50%, pero no solo eso, sino que también lograríamos reducir las pérdidas de potencia al sustituir el sistema actual de cambio de velocidades por un variador de velocidad. Con todo ello suponiendo que el tiempo de mezcla se reduzca de media a 1 hora y que las pérdidas de potencia son reducidas a un 14% podemos calcular que el precio de cada mezcla resulta en 13.86€.

#### 6.2 Fase de desarrollo

Esta fase incluye todos los pasos necesarios a realizar antes de realizar las modificaciones en la máquina una vez ya aprobado por la empresa el proyecto.

Para este Trabajo de Fin de Master se han considerado los siguientes sub-fases de la fase de desarrollo:



También se define de forma detallada cada uno de los trabajos de forma individual con la documentación correspondiente.

Por ejemplo: en el caso del cableado se especifica de la longitud de los cables, su sección y la identificación de cada uno, así como los puntos de conexión de los extremos del cable.

#### 6.2.2 Revisión y actualización de los planos

Se realiza una comprobación de la fidelidad entre la documentación encontrada respecto a la posición de la máquina en las instalaciones, así como de la disposición del cableado eléctrico que se encuentre en este momento conectado a la máquina.

Una vez comprobados los planos se procede a realizar nuevos planos a partir de los ya existentes para lograr llevar a cabo las actualizaciones deseadas.

#### 6.2.3 Realización del programa del autómatas

En esta etapa se realizará la programación del autómatas que se encargará del control de la dispersora. Para la realización de esta modificación se emplea un autómatas de la casa Rockwell, el software empleado será el RSLogix 500 ya que, aunque el autómatas funcione con el RSLogix 5000, este programa se puede exportar del primero al segundo y además de esta forma se puede probar el programa en una maqueta para su simulación.

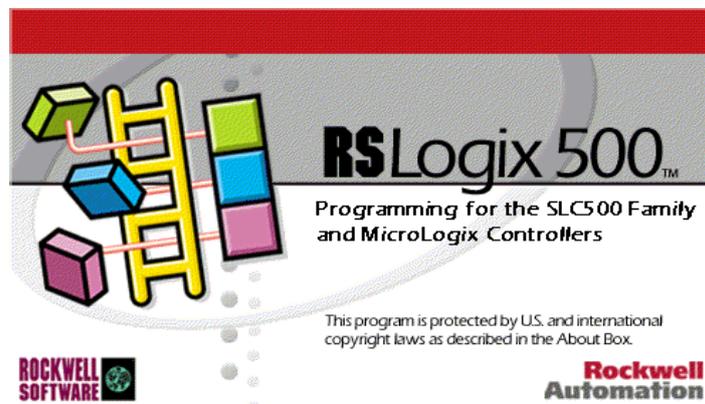


Ilustración 65 Pantalla de inicio del programa RSLogix 500

#### 6.2.4 SCADA

Para el control del autómatas se recurre a un sistema SCADA el cual se situará en la sala de control. Para la realización de este SCADA se utiliza el software de la casa Rockwell FTView.

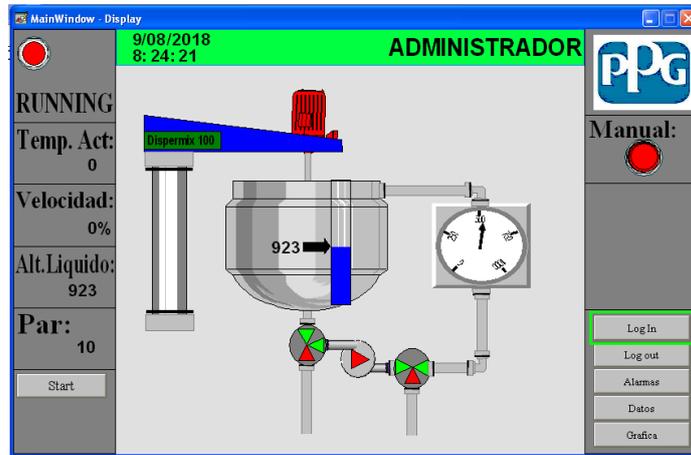


Ilustración 66 Pantalla del SCADA

### 6.2.5 Simulación

Para comprobar el correcto funcionamiento tanto del autómatas como del SCADA se decide previo a su implementación emplear una maqueta para comprobar el funcionamiento de ambos.

A continuación, se muestra una representación de la maqueta utilizada, así como de la pantalla principal:

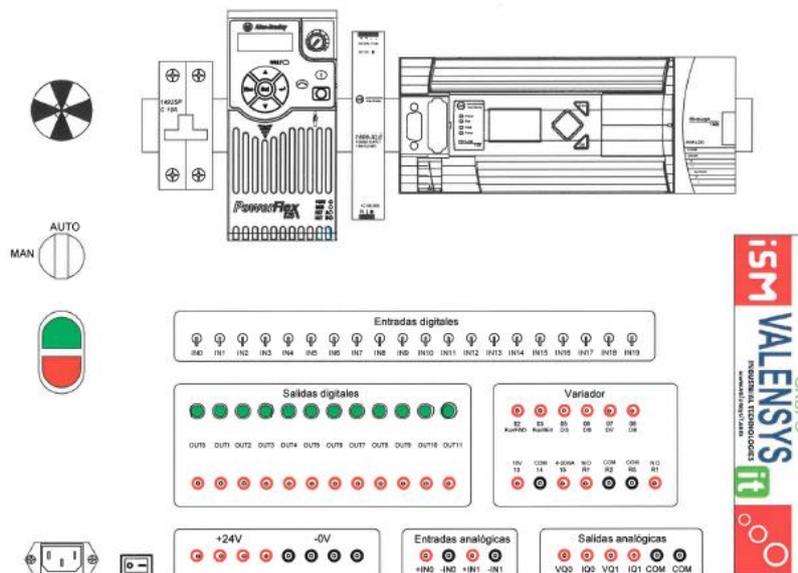


Ilustración 67 Diagrama de la maqueta para la simulación

### 6.2.6 Autorizaciones de las entidades competentes

Esta documentación se comienza a realizar una vez aprobado el proyecto ya que es necesario reducir el tiempo en el que la máquina está fuera de servicio lo máximo posible y no es responsable poner la máquina en operación sin la correspondiente acreditación ATEX y el mercado CE.



A continuación, se describen las características principales de cada uno de estos documentos:

- **Acreditación ATEX:** Esta acreditación es necesaria para cualquier máquina que deba trabajar en cualquier clase de entorno con potencial explosivo. Esta normativa se encuentra a su vez conformada por dos normas:
  - El equipo ATEX 95 directiva 94/9/EC. Regula equipos y sistemas de protección cuya intención es para su uso en atmósfera potencialmente explosivas.
  - El lugar de trabajo ATEX 137 directiva 99/92/EC. Señala los requerimientos mínimos para la mejora de la protección de la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a riesgos derivados de atmósferas explosivas.

De estas dos directivas nos centraremos en la 94/9/EC. Debido a que en este caso somos nosotros los fabricantes de la máquina. Sin embargo en este caso no se trata de crear una máquina desde cero, sino que se trata de una modificación de la máquina, por ello la documentación necesaria es mucho menor que si se tratase de una máquina que se crea desde cero.

- **Marcado CE:** Este marcado es necesario y obligatorio para todos los productos y máquinas de la unión europea. Para obtener el marcado Cese deben cumplimentar una serie de documentaciones aparte de una serie de ensayos para comprobar la seguridad de la máquina:
  - Documentos:
    - Documentación [Regla UNE 61082]
    - Referencias [Regla UNE 61346]
    - Instrucciones [Regla UNE 62079]
    - Partes [Regla UNE 62027]
  - Verificaciones:
    - El equipo cumple con la documentación técnica
    - Protección contra el contacto directo [Apartado 18.2]
    - Test de resistencia aislada [Apartado 18.3]
    - Test de voltaje [Apartado 18.4]
    - Protección contra voltaje residual [Apartado 18.5]
    - Test de funcionalidad [Apartado 18.6]

### 6.3-Fase de puesta en marcha

En esta fase se realiza todo lo acordado en las fases anteriores.

Para este Trabajo de Fin de Máster se han considerado los siguientes sub-fases de la fase de desarrollo:

## Fase de puesta en marcha

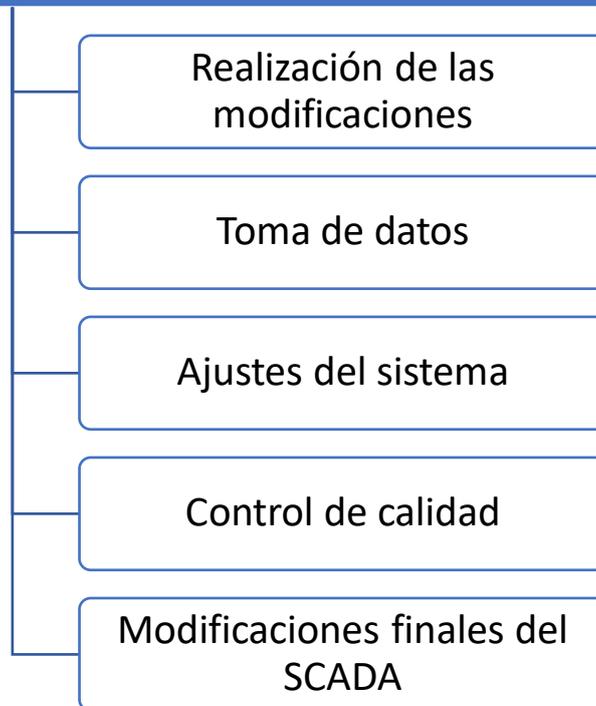


Tabla 32 Sub-fases de la fase de la puesta en marcha

### 6.3.1 Realización de las modificaciones

Las modificaciones para la modificación de la máquina se realizarán en una de las paradas de planta para con ello no repercutir en la producción de la fábrica.

Todas estas modificaciones se harán bajo supervisión y de acuerdo a los planos y documentación previamente elaborados.

### 6.3.2 Toma de datos

Una vez realizadas todas las modificaciones y la instalación del SCADA para el control de la máquina se procede a la calibración de la máquina.

Para ello se realizarán diferentes pruebas con las diferentes mezclas empleadas en la fábrica y se anotara la viscosidad ideal y el tiempo que ha tardado en realizarse la mezcla.

### 6.3.3 Ajuste del sistema

Los datos obtenidos en el apartado anterior son aportados al equipo de químicos para que nos puedan proporcionar el margen de error que se puede cometer en cada tipo de mezcla.



Una vez que se proporcionen estos datos se introducen en el autómatas para que este pueda determinar los límites en los cuales una mezcla es aceptable.

#### 6.3.4 Control de la calidad

Debido a las nuevas modificaciones se debe de realizar al principio un control más riguroso de las mezclas terminadas, tanto en brillo, densidad, viscosidad...

De esta forma se da por correctamente ajustada la máquina y solo se realizarán los controles de calidad rutinarios.

#### 6.3.5 Modificaciones finales del SCADA

Por último, se realizarán modificaciones estéticas al SCADA que no cambiará el funcionamiento del mismo, solo se cambiará la estética para que al operario le resulte más cómodo y más intuitivo.

#### 6.4 Fase de documentación

A diferencia de las otras fases, esta fase no es la última en realizarse. Esta fase se realiza en paralelo junto a las otras tres, ya que es necesario dejar por escrito todos los pasos realizados para lograr realizar el proyecto, así como todos los acuerdos y decisiones tomados a lo largo del proyecto. Incluyendo también planos, actas de reunión, permisos, documentación relativa a las máquinas empleadas, encargados del proyecto, entre muchas más cosas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 7-PRESUPUESTOS



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## 7 Presupuestos

### 7.1 Mediciones de materiales

Unidades	Material	Cantidad
<b>Variador de frecuencia</b>		
Uds.	20-HIM-A6	1
Uds.	20-750-EMC1-F4	1
Uds.	20-750-ENETR	1
Uds.	20-750-NEMA1-F6	1
Uds.	Powerflex 750 20F11NC072JA0NNNNN	1
<b>Sensor de máximo nivel</b>		
Uds.	Vibracon LVL-M2-T61BB-A1N1NA-E2.0400	1
Uds.	Amplificador Separador KFD2-SR2-EX2.W	1
<b>Nivel laser</b>		
Uds.	ABB LLT100.AI.C.H.10.L5-E01	1
<b>Transmisor de presión</b>		
Uds.	Rosemount 2051 Transmisor de presión en línea 2051TG2A2B22BK1M5D4	1
Uds.	EMR FREIGHT & HANDLING:FREIGHT HANDLING	1
<b>Cables</b>		
m.	Cable de 95mm	100



m.	Cable de 1,5mm	500
Bomba		
Uds.	ARO 666-370-C	1
Válvulas		
Uds.	Válvula de 3 vías	2
Motor		
Uds.	Motor de 100 cv	1
Viscosímetro		
Uds.	Endress+Hauser Promass 300	1

Tabla 33 Listado de materiales

## 7.2 Medición de tiempos

Unidades	Operación	Tiempo(h)
H	Instalación del powerflex 750	6
H	Cambio del motor	12
H	Instalación del sensor laser LLT 100	2
H	Instalación de la bomba y el viscosímetro	3
H	Cableado	20
H	Eliminación del cambio de velocidad mecánico	10



H	Instalación del sensor de máximo nivel Vibracon	1
H	Obras de adaptación de la instalación/Electricista	5
H	Trabajos mecánicos	2
	Total	61

Tabla 34 Medición de tiempos

### 7.3 Justificación de los precios de los materiales

Material	Precio U(€/Unidad)
20-HIM-A6	246.00
20-750-EMC1-F4	162.00
20-750-ENETR	924.00
20-750-NEMA1-F6	95.00
Powerflex 750 20F11NC072JA0NNNNN	3,216.00
Vibracon LVL-M2-T61BB-A1N1NA-E2.0400	773.88
Amplificador Separador KFD2-SR2-EX2.W	140.17
ABB LLT100.AI.C.H.10.L5-E01	2,317.00
Rosemount 2051 Transmisor de presión en línea 2051TG2A2B22BK1M5D4	2,925.00
EMR FREIGHT & HANDLING:FREIGHT HANDLING	73.13
ARO 666-370-C	1,498.00



Válvula de 3 vías	170.00
Cable de 95mm	11.88
Cable de 1,5mm	0.15
Endress+Hauser Promass 300	8,670.00

Tabla 35 Lista Material/Precio

#### 7.4 Justificación de la mano de obra.

Hora de trabajo de un electricista es de: 20€

Hora de trabajo de un mecánico es de: 20€

Hora de trabajo de un automatista es de: 40€



## 7.5 presupuesto parcial relativo a materiales

Material	Cantidad	Precio U(€/Unidad)	Precio Total(€)
20-HIM-A6	1	246.00	246.00
20-750-EMC1-F4	1	162.00	162.00
20-750-ENETR	1	924.00	924.00
20-750-NEMA1-F6	1	95.00	95.00
Powerflex 750 20F11NC072JA0NNNNN	1	3,216.00	3,216.00
Vibracon LVL-M2-T61BB-A1N1NA-E2.0400	1	773.88	773.88
Amplificador Separador KFD2-SR2-EX2.W	1	140.17	140.17
ABB LLT100.AI.C.H.10.L5-E01	1	2,317.00	2,317.00
Rosemount 2051 Transmisor de presión en línea 2051TG2A2B22BK1M5D4	1	2,925.00	2,925.00
EMR FREIGHT & HANDLING:FREIGHT HANDLING	1	73,13	73.13
ARO 666-370-C	1	1498.00	1498.00
Válvula de 3 vías	2	170.00	340.00
Cable de 95mm	100	11.88	1,188.00
Cable de 1,5mm	500	0.15	750.00
Endress+Hauser Promass 300	1	8,670.00	8,670.00
Total			23,317.30

Tabla 36 Presupuesto parcial relativo a materiales



7.6 Presupuesto parcial relativo a operaciones de montaje

Mano de obra			
Operación	Tiempo(hora)	Precio de mano de obra(€/hora)	Precio total(€)
Instalación del powerflex 750	6	20	120
Cambio del motor	12		240
Instalación del sensor laser LLT 100	1,5		30
Instalación de la bomba y el viscosímetro	3		60
Cableado	20		400
Eliminación del cambio de velocidad mecánico	10		200
Instalación del sensor de máximo nivel Vibracon	1		20
Obras de adaptación de la instalación/Electricista	5		100
Trabajos mecánicos	1,5		30
Diseño eléctrico	15		40
Programación	20	800	
Total			2,600

Tabla 37 Presupuesto parcial relativo a las labores de montaje



### 7.7 Presupuesto completo

Presupuesto final	
Precio de los materiales	23,317.30€
Precio de la mano de obra	2,600€
Precio final	24,917.30€

Tabla 38 Presupuesto total



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Electrónica Industrial y Automática



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 8-RESULTADOS



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Electrónica Industrial y Automática



## 8-Resultados

### 8.1-Estado actual

Desgraciadamente debido a las condiciones económicas de la empresa y cambios en políticas económicas del gobierno (Incremento del impuesto en el diésel), por ello se ha decidido por parte de la empresa dar prioridad a otros proyectos.

Debido a esto todos los resultados que se desarrollan en este apartado son calculados en función de los beneficios previstos.

### 8.2-Beneficios previstos

Los principales beneficios que supondría en tema de eficiencia la actualización de la máquina son:

- Eliminación del regulador de velocidad mecánico para su sustitución por un variador de frecuencia, suponiendo un aumento de la eficiencia energética del 24%.
- Empleo de un viscosímetro para poder reducir el tiempo de ciclo en un 50%.
- Automatización de la máquina para poder errores humanos.

### 8.3-Amortización

En este apartado se realiza un posible cálculo de la amortización de la actualización de la máquina partiendo de los beneficios previstos.

Partiendo que el tiempo de proceso medio de una mezcla en la máquina es de 2h, se calcula el precio actual de la energía consumida por la máquina. La máquina cuenta con un motor de 100cv que en términos energéticos equivale a 75.54 kw/h. Teniendo en cuenta que el motor debido al cambio de velocidad mecánica supone unas pérdidas energéticas de un 24% se puede calcular que el consumo energético sería de 93.67 kw/h, y siendo en España el precio del kw/h a 0.161 € sería que cada mezcla costaría 30.16€.

Con la actualización, es decir sin las pérdidas del regulador de velocidad y con la reducción del tiempo de ciclo el coste energético de cada mezcla resulta en aproximadamente en 13.86€.

Teniendo en cuenta que la máquina está funcionando las 24h del día, la dispersora actual produce un costo diario de 723.84€ lo que supone al mes 22439.04€. Con el sistema actual se lograría reducir el gasto diario a 332,64€ lo que supondría al mes 10311.84€. El ahorro mensual supondría ya 12127.2€.

Como se ha podido ver en el apartado 7, el presupuesto previsto para la actualización es de 24,917.30€, por ello el tiempo de amortización es de tan solo 2 meses.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



# 9- CONCLLUSIONES



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## 9-Conclusiones

### 9.1-Objetivos logrados

Entre los objetivos conseguidos con el proyecto se han conseguido:

- Reducción del tiempo de ciclo.
- Reducción del consumo energético de la máquina.
- Aumento de la seguridad de la máquina.
- Simplificación en el método de empleo de la máquina.

### 9.2-Linea futuras

A pesar de las mejoras realizadas en la máquina aún es posible mejorar aún más la máquina. Algunas de las posibles mejoras podrían ser:

- Conectar los suministradores de materias primas a la máquina para que esta misma pueda racionar las cantidades y no necesitar de un operario que añada las materias primas requeridas para la mezcla.
- Utilización de un sistema opc para comunicar el autómata con una base de datos online. De tal forma que se pueda comprobar desde diferentes puntos el estado actual de la máquina como las operaciones que se han realizado en ellas.
- Coordinar un sistema de pantallas simplificadas para que el supervisor mediante una tableta pueda acceder al estado de la máquina y controlarla.

### 9.3-Aprendizaje

A lo largo del desarrollo de este proyecto se han adquirido una serie de conocimientos para nada desdeñables entre los cuales cabe destacar:

- Programación de autómatas programables de la familia Rockwell.
- Programación de un sistema SCADA mediante FactoryTalkView.
- Capacidad de instalación y configuración de sensores mediante el protocolo HART.
- Conocimientos relativos al procedimiento de elaboración de proyectos en una empresa.
- Coordinación de recursos.



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Electrónica Industrial y Automática



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

# 10-BIBLIOGRAFÍA



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Electrónica Industrial y Automática**



## 10 Bibliografía

### 10.1 Enlaces consultados

- 1) NERVION PINTURAS. Historia de las pinturas. En: Nervion [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.nervion.com.mx/web/>.
- 2) LAS-PINTURAS.COM. Curado de pinturas, métodos de curado. En: las-pinturas.com [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.las-pinturas.com/secado-de-la-pintura.html>.
- 3) HOCKMEYER. Dispersores. En Hockmeyer [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.hockmeyer.com/es/products/dispersers-agitators/dispersores-detail.html>.
- 4) INPRA LATINA. Mezcla y dispersión, procesos complementarios. En Impra latina [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201009151975/articulos/pinturas-y-recubrimientos/mezcla-y-dispersion-procesos-complementarios.html>.
- 5) PCE. Medidores de viscosidad. En Pce-Iberica [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/medidores/medidores-viscosidad.htm>.
- 6) WIKIHOW. Cómo medir la viscosidad. En wikiHow [sitio web]. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: <https://es.wikihow.com/medir-la-viscosidad>.
- 7) PPG Pittsburgh Plate Glass Co.. En ppgrefinis [sitio web] [Consulta 18 enero 2019]. Disponible en: <https://es.ppgrefinish.com/es/acerca-de-ppg/pittsburgh-plate-glass-co/>.
- 8) PULVEX. En maquinariapulvex [sitio web] [Consulta 15 noviembre 2018]. Disponible en: <http://maquinariapulvex.com/images/sistemas-de-agitacion2.jpg>.
- 9) WIKIMEDIA. En Wikimedia [sitio web] [Consulta 22 Septiembre 2018] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/Diagrama\\_variador\\_de\\_frecuencia.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/Diagrama_variador_de_frecuencia.JPG).
- 10) MILUISYEDGAR. Mediciones industriales por Luis y Edgar. En miluisyedgar [sitio web] [Consulta 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://miluisyedgar.blogspot.com/2007/05/sensor-coriolis-introduccion-hasta-hace.html>.
- 11) RESEARCHGATE. En researchgate [sitio web] [Consulta 12 febrero 2019]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Principio-de-funcionamiento-de-los-sensores-laser-por-triangulacion-LTS\\_fig1\\_260284566](https://www.researchgate.net/figure/Principio-de-funcionamiento-de-los-sensores-laser-por-triangulacion-LTS_fig1_260284566).
- 12) WIKA. ¿Cómo funciona un transmisor de presión? En wika [sitio web] [Consulta 12 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>.



- 13) DIRECTINDUSTRY. Variador AC de control vectorial. En directindustry [sitio web] [Consulta 20 enero 2019]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/prod/allen-bradley/product-5071-1308421.html>.
- 14) GESA. Sonda de temperatura PT100. En gesa [sitio web] [Consulta 28 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.termometros.com/Sonda-de-temperatura-PT100-RTD-cabezal-con-conexi%C3%B3n-el%C3%A9ctrica-sencilla-y-rosca-fija>.
- 15) ENDRESSANDHAUSER. Caudalímetro Proline Promass 300 Coriolis. En endress [sitio web] [Consulta 25 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/caudalimetro-coriolis-robusto>.
- 16) ABB. Laser level transmitters. En ABB [sitio web] [Consulta 29 octubre 2018]. Disponible en: <https://new.abb.com/products/measurement-products/level/laser-level-transmitters>.
- 17) EMERSON. Rosemount™ 2051 Transmisor de caudal por presión diferencial. En Emerson [sitio web] [Consulta 3 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.emerson.com/es-es/catalog/rosemount-sku-2051-dp-flow-transmitter-es-es>.
- 18) ROCKWELLAUTOMATION. Controladores CompactLogix 5370 1769. En rockwellautomation [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Programmable-Controllers/CompactLogix-5370-Controllers>.
- 19) INDIAMART. 220 V AC 1769-PA4 Allen Bradley CompactLogix PLC. En indiamart [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/1769-pa4-allen-bradley-compactlogix-plc-19977948491.html>.
- 20) EBAY. Ebay [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.ebay.ie/sch/sis.html?itemId=151653116534&nkw=ProSoft+Technology+MVI69+MCM+MVI69+Modbus+Master+Slave+Communication+Module+Qty&mPrRngCbx=1>.
- 21) GPMSURPLUS. Allen-Bradley Compact I/O Sourcing Output Module, Ser. A Rev. 1 1769-OB16. Gpmsurplus [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://gpmsurplus.com/product/allen-bradley-compact-io-sourcing-output-module-ser-a-rev-1-1769-ob16/>.
- 22) EBAY. Allen Bradley 1769-IA16 /A 1769-1A16 CompactLogix 120V AC Input 16-P Qty. Ebay [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.ebay.com/c/2084132477>.
- 23) PLC-CITY. 1769-OA16 Allen-Bradley. Plc-city [sitio web] [Consulta 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://www.plc-city.com/shop/es/allen-bradley-compactlogix-io-modules/rockwell-1769-oa16->



[nfs.html?gmc\\_currency=1&gclid=CjwKCAjwvblkBRBbEiwACHbckRdBAOscPr1A5q-0noLttHAbtBRDnlQ-3zSK7SFScx3wilXzb KwfhoC-BkQAvD BwE.](https://www.infopl.net/descargas/195-rockwell/hm-scada/292-guia-de-inicio-scada-rsview-32)

## 10.2 Libros y artículos consultados

- 24) ROCKWELL AUTOMATION. 2000. RSView32 Guía de resultados con RSView32 Getting Results Guide. Doc ID 9399-2SE32GR-ES DEC99. Archivo PDF disponible en: <https://www.infopl.net/descargas/195-rockwell/hm-scada/292-guia-de-inicio-scada-rsview-32>.
- 25) ROCKWELL AUTOMATION. 2013. Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex 525. Doc ID 9399-2SE32GR-ES DEC99. Coc ID 520-UMoo1B-ES-E. Archivo PDF disponible en: <https://www.rockwellautomation.com/literature/>.
- 26) ROCKWELL AUTOMATION. 2013. Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex 525. Doc ID 520-UMoo1B-ES-E. Archivo PDF disponible en: <https://www.rockwellautomation.com/literature/>.
- 27) ALLEN BRADLEY. 2000. Manual de referencia Juego de instrucciones de SLC 500 y Micrologix 1000. Archivo PDF disponible en: <https://es.scribd.com/doc/38566296/1747-Manual-RSLogix-500-Es-p>.
- 28) ALLEN BRADLEY. MicroLogix 1400 Programmable Logic Controller Systems. Archivo PDF disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/Micrologix-1400#documentation>.
- 29) ALLEN BRADLEY. 2013. MicroLogix 1762-IF4Analog Input Module. Doc ID 1762-INO12C-EN-P. Archivo PDF disponible en: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012\\_en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in012_en-p.pdf).
- 30) ALLEN BRADLEY. 2013. Módulo de entrada de 120 VCA 1762-IA8 MicroLogix. Doc ID 1762-INO12C-EN-P. Archivo PDF disponible en: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in002\\_es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1762-in002_es-p.pdf).
- 31) FUNDACIÓN ENTORNO. Junio 1998. Informe medioambiental de pinturas y barnices. Archivo PDF disponibles en: [http://www.bizkaia21.eus/biblioteca\\_virtual/descargar\\_documento.asp?idDoc=875&idSubArea=1&idPagina=124&volver=3&idioma=eu&pag=6&orden=1&tipoOrden=1](http://www.bizkaia21.eus/biblioteca_virtual/descargar_documento.asp?idDoc=875&idSubArea=1&idPagina=124&volver=3&idioma=eu&pag=6&orden=1&tipoOrden=1).
- 32) ROCKWELLAUTOMATION. 1769 Compact I/O Modules Specifications. Doc ID: 1769-TD006F-EN-P. Archivo PDF disponible en: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006\\_en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006_en-p.pdf).
- 33) ROCKWELLAUTOMATION. 1769 Compact I/O Modules Specifications. Doc ID: 1769-TD006F-EN-P. Archivo PDF disponible en: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006\\_en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006_en-p.pdf).
- 34) ROCKWELLAUTOMATION. Compact™ 1769-IA16 120 V c.a. Módulo de entradas. Doc ID: 1769-5.1ES. Archivo PDF disponible en:



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Electrónica Industrial y Automática

<https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in006-es-p.pdf>.

35) ROCKWELLAUTOMATION. Compact™ 16-Point 100 to 240V ac Solid State Output Module. Doc ID: 1769-IN061A-EN-P. Archivo PDF disponible en:

<https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1769-in061-en-p.pdf>.